

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Definisi dan Klasifikasi Jalan Tol

Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian dari sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol (PP No. 15 Tahun 2005). Tol merupakan sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol. Besarnya tarif tol berbeda untuk setiap golongan kendaraan dan ketentuan tersebut telah ditetapkan berdasarkan keputusan presiden.

Menurut Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, klasifikasi jalan tol terbagi menjadi :

a. Klasifikasi menurut fungsi jalan

Klasifikasi jalan bebas hambatan untuk jalan tol menurut fungsi jalan dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Menurut Fungsi Jalan

Fungsi Jalan	Jenis Angkutan yang Dilayani	Jarak Perjalanan	Kecepatan Rata-Rata	Jumlah Jalan Masuk
Arteri	Utama	Jauh	Tinggi	Dibatasi
Kolektor	Pengumpul / Pembagi	Sedang	Sedang	Dibatasi

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

b. Klasifikasi menurut kelas jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan terbagi menjadi :

1. Klasifikasi kelas jalan berdasarkan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan.

Kelas jalan bebas hambatan untuk jalan tol didisain dengan jalan kelas 1, tetapi untuk kasus khusus dimana jalan tol tersebut melayani kawasan berikat ke jalan menuju dermaga atau ke stasiun kereta api, dimana kendaraan yang dilayani lebih besar dari standar yang ada, maka harus didesain menggunakan jalan kelas khusus.

Tabel 2.2 Klasifikasi Kelas Jalan Berdasarkan Fungsi, Dimensi Kendaraan dan MST

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum yang Diizinkan			Muatan Sumbu Terberat yang Diizinkan (ton)
		Lebar (mm)	Panjang (mm)	Tinggi (mm)	
1	Arteri dan Kolektor	2.500	18.000	4.200	10
Khusus	Arteri	> 2.500	> 18.000	> 4.200	> 10

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2. Standar kelas jalan berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan
Klasifikasi kelas jalan bebas hambatan untuk jalan tol berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan adalah jalan bebas hambatan karena:

- Jalan tol melayani arus lalu lintas jarak jauh,
- Tidak ada persimpangan sebidang,
- Jumlah jalan masuk dibatasi dan harus terkendali secara penuh,
- Jumlah lajur minimal dua lajur per arah,
- Menggunakan pemisah tengah atau median, dan
- Harus dilakukan pemagaran.

- c. Klasifikasi menurut menurut medan jalan

Klasifikasi medan jalan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur melintang terhadap sumbu jalan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi menurut medan jalan

Medan Jalan	Notasi	Kemiringan Medan
Datar	D	< 10%
Perbukitan	B	10% - 25%
Pegunungan	G	> 25%

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2.2 Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol

Standar Pelayanan Minimum (SPM) jalan tol mencakup kondisi jalan tol, kecepatan tempuh rata-rata, aksesibilitas, mobilitas, dan keselamatan. Standar

pelayanan minimal jalan tol tersebut merupakan ukuran yang harus dicapai dalam pelaksanaan penyelenggaraan jalan tol serta dievaluasi secara berkala berdasarkan hasil pengawasan fungsi dan manfaat (PP No. 15 Tahun 2005).

Ketentuan lebih lanjut mengenai Standar Pelayanan Minimum (SPM) jalan tol diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 392/PRT/M/2005.

Tabel 2.4 Standar Pelayanan Minimum (SPM) Jalan Tol

No	Substansi Pelayanan	Standar Pelayanan Minimum		
		Indikator	Lingkup	Tolak Ukur
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Kondisi Jalan Tol	<ul style="list-style-type: none"> - Kecepatan - Ketidakrataan - Tidak ada lubang 	<ul style="list-style-type: none"> - Seluruh ruas jalan tol - Seluruh ruas jalan tol - Seluruh ruas jalan tol 	<ul style="list-style-type: none"> - 0,33 μm - IRI $\leq 4m/km$ - 100%
2	Kecepatan Tempuh Rata-Rata	<ul style="list-style-type: none"> - Kecepatan tempuh rata-rata 	<ul style="list-style-type: none"> - Jalan Tol Dalam Kota - Jalan Tol Luar Kota 	<ul style="list-style-type: none"> - $\geq 1,6$ kali kecepatan tempuh rata-rata Jalan non tol - $\geq 1,8$ kali kecepatan rata-rata Jalan non tol
3	Aksesibilitas	<ul style="list-style-type: none"> - Kecepatan transaksi rata-rata - Jumlah gardu tol 	<ul style="list-style-type: none"> - Gerbang tol sistem terbuka - Gerbang tol sistem tertutup <ul style="list-style-type: none"> • Gardu masuk • Gardu keluar - Kapasitas sistem terbuka - Kapasitas sistem tertutup <ul style="list-style-type: none"> • Gardu masuk • Gardu keluar 	<ul style="list-style-type: none"> - ≤ 8 detik setiap kendaraan - ≤ 7 detik setiap kendaraan - ≤ 11 detik setiap kendaraan - ≤ 450 kendaraan per jam per gardu - ≤ 500 kendaraan per jam - ≤ 300 kendaraan per jam

Lanjutan Tabel 2.4

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
4	Mobilitas	<ul style="list-style-type: none"> - Kecepatan penanganan hambatan lalu lintas 	<ul style="list-style-type: none"> - Wilayah pengamatan / observasi patroli - Mulai informasi diterima sampai ke tempat kejadian - Penanganan akibat kendaraan mogok. 	<ul style="list-style-type: none"> - 30 mmit per siklus pengamatan - ≤ 30 menit - Melakukan penderekan ke pintu gerbang terdekat
5	Keselamatan	<ul style="list-style-type: none"> - Sarana pengaturan lalu lintas <ul style="list-style-type: none"> • Perambuan • Marka jalan • <i>Guide post</i>/ Reflektor • Patok Kilometer setiap 1 Km - Penerangan jalan umum (PJU) wilayah perkotaan - Pagar Rumija - Penanganan kecelakaan - Penanganan dan penegakan hukum 	<ul style="list-style-type: none"> - Kelengkapan dan kejelasan perintah dan larangan serta petunjuk - Fungsi dan manfaat - Korban kecelakaan - Kendaraan kecelakaan - Ruas jalan tol 	<ul style="list-style-type: none"> - 100% - Jumlah 100% dan reflektifitas ≥ 80% - Jumlah 100% dan reflektifitas ≥ 80% - 100% - Lampu menyala 100% - Keberadaan 100% - Dievakuasi gratis ke rumah sakit rujukan - Melakukan penderekan gratis sampai ke pool derek (masih di dalam jalan tol) - Keberadaan polisi patroli jalan raya (PJR) yang siap panggil 24 jam

Lanjutan Tabel 2.4

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
6	Unit pertolongan/ penyelamatan dan bantuan pelayanan	<ul style="list-style-type: none"> - Ambulans - Kendaraan derek - Polisi patroli jalan raya (PJR) - Patroli jalan tol (Operator) - Kendaraan <i>Rescue</i> - Sistem Informasi 	<ul style="list-style-type: none"> - Ruas jalan tol - Ruas jalan tol: <ul style="list-style-type: none"> • $LHR > 100.000$ kend/hari • $LHR \leq 100.000$ kend/hari - Ruas jalan tol : <ul style="list-style-type: none"> • $LHR > 100.000$ kend/hari • $LHR \leq 100.000$ kend/hari - Ruas jalan tol - Ruas jalan tol - Informasi komunikasi kondisi lalu lintas 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 Unit per 25 km atau minimum 1 unit (dilengkapi standar P3K dan paramedis) - 1 unit per 5 km atau minimum 1 unit - 1 unit per 10 km atau minimum 1 unit - 1 unit per 15 km atau minimum 1 unit - 1 unit per 20 km atau minimum 1 unit - 1 unit per 15 km atau minimum 2 unit - 1 unit per ruas jalan tol (dilengkapi dengan peralatan penyelamatan) - Setiap gerbang masuk

(Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 392/PRT/M/2005, 2005)

2.3 Geometrik Jalan

Definisi perencanaan geometrik jalan menurut beberapa para ahli adalah sebagai berikut :

- a. Menurut Shirley L. Hendarsin (2000), perencanaan geometrik jalan adalah perencanaan rute dari suatu ruas jalan secara lengkap, meliputi beberapa elemen yang disesuaikan dengan kelengkapan dan data dasar yang ada atau tersedia dari hasil survey lapangan dan telah dianalisis, serta mengacu pada ketentuan yang berlaku.
- b. Menurut Silvia Sukirman (1999), perencanaan geometrik jalan merupakan bagian dari perencanaan jalan yang dititik beratkan pada perencanaan bentuk fisik sehingga dapat memenuhi fungsi dasar dari jalan yaitu memberikan pelayanan yang optimum pada arus lalu lintas dan sebagai akses ke rumah-rumah.

Berdasarkan pendapat para ahli di atas maka dapat disimpulkan bahwa perencanaan geometrik jalan adalah perencanaan bentuk fisik jalan meliputi

beberapa elemen yang disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku guna menjamin keselamatan maupun kenyamanan dari pemakai jalan. Dasar perencanaan geometrik adalah sifat gerakan dan ukuran kendaraan, sifat pengemudi dalam mengendalikan gerak kendaraannya dan karakteristik arus lalu lintas. Hal-hal tersebut haruslah menjadi bahan pertimbangan perencana sehingga dihasilkan bentuk dan ukuran jalan serta ruang gerak kendaraan yang memenuhi tingkat kenyamanan dan keamanan yang diharapkan.

2.3.1 Penampang Melintang Jalan

Penampang melintang jalan merupakan potongan melintang tegak lurus sumbu jalan Silvia Sukirman (1999). Pada potongan melintang jalan dapat terlihat bagian-bagian jalan. Bagian-bagian jalan dikelompokkan sebagai berikut :

a. Bagian Yang Langsung Berguna Untuk Lalu Lintas

Bagian yang langsung berguna untuk lalu lintas adalah sebagai berikut :

1. Jalur lalu lintas

Jalur lalu lintas (*travelled way = carriage way*) adalah keseluruhan bagian perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk lalu lintas kendaraan. Jalur lalu lintas terdiri dari beberapa lajur (lane) kendaraan.

2. Lajur lalu lintas dan Bahu Jalan

Lebar lajur dan lebar bahu jalan ditentukan berdasarkan lokasi jalan tol dan kecepatan rencana. Lebar lajur dan bahu jalan dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Lebar lajur dan Bahu Jalan Tol

Lokasi Jalan Tol	V _R (km/jam)	Lebar Lajur (m)		LebarBahu Luar Diperkeras (m)		LebarBahu Dalam Diperkeras (m)
		Minimal	Ideal	Minimal	Ideal	
Antar Kota	120	3,60	3,75	3,00	3,50	1,50
	100	3,60	3,60	3,00	3,50	1,50
	80	3,60	3,60	3,00	3,50	1,00
Perkotaan	100	3,50	3,60	3,00	3,50	1,00
	80	3,50	3,50	2,00	3,50	0,50
	60	3,50	3,50	2,00	3,50	0,50

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

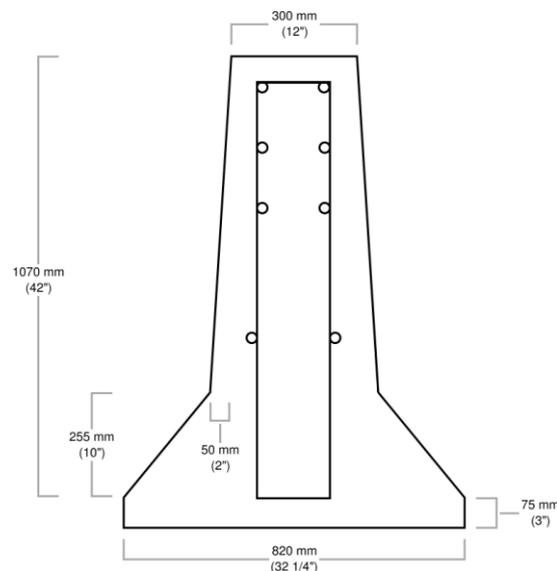
3. Trotoar

Trotoar (jalur pejalan kaki/*side walk*) adalah jalur yang terletak berdampingan dengan jalur lalu lintas yang khusus dipergunakan untuk pejalan kaki (*pedestrian*). Lebar trotoar yang dibutuhkan ditentukan oleh volume pejalan kaki, tingkat pelayanan pejalan kaki yang diinginkan dan fungsi jalan.

4. Median

Median atau pemisah tengah merupakan bangunan yang berfungsi memisahkan arus lalu lintas berlawanan arah dan ada tiga tipe standar median yang dapat digunakan, antara lain (Standar Geometrik tentang Jalan Tol NO.007-BM-2009):

- a. *Median Concrete Barrier*, yaitu penghalang memanjang yang berfungsi sebagai pengaman. Median concrete barrier ada 2 jenis yaitu tipe standar dengan tinggi 32” (81,28 cm) dan tipe “high” dengan tinggi 42” (106,68 cm).



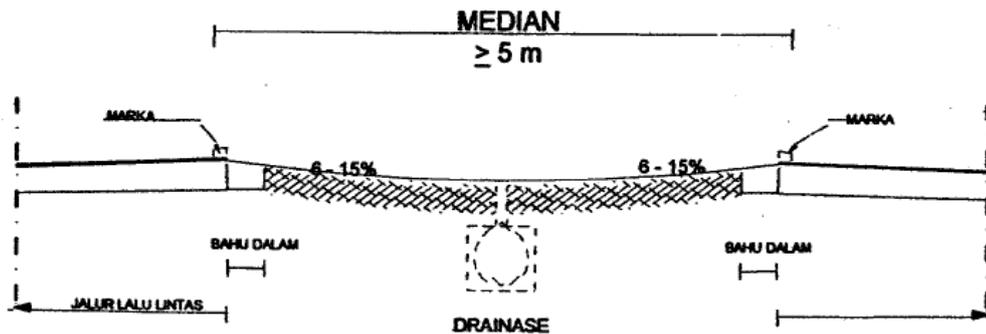
Gambar 2.1 *Median Concrete Barrier* dengan Tipe *High*

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

- b. Median yang diturunkan, yaitu median yang dibuat lebih rendah dari permukaan jalur lalu lintas. Median yang diturunkan harus

mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- Dipasang apabila lebar lahan yang disediakan untuk median lebih besar atau sama dengan 5,0 m.
- Kemiringan permukaan median antara 6% -15 %, dimulai dari sisi luar ke tengah-tengah median dan secara fisik berbentuk cekungan.
- Untuk jalan tol di daerah perkotaan, median yang diturunkan tidak diperbolehkan, harus datar sebagai ruang terbuka hijau dan/ atau ruang untuk pelebaran lajur tambahan di masa yang akan datang.
- Detail potongan dan penempatan median yang direndahkan dalam potongan melintang jalan dapat dilihat pada Gambar



Gambar 2.2 Median yang Diturunkan

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Tabel 2.6 Perencanaan lebar median jalan tol

Lokasi Jalan Tol	Lebar Median (m)		Keterangan
	Minimal	Konstruksi Bertahap	
Antarkota	5,50	13,00	Diukur dari garis tepi dalam lajur lalu lintas
Perkotaan	3,00	10,00	

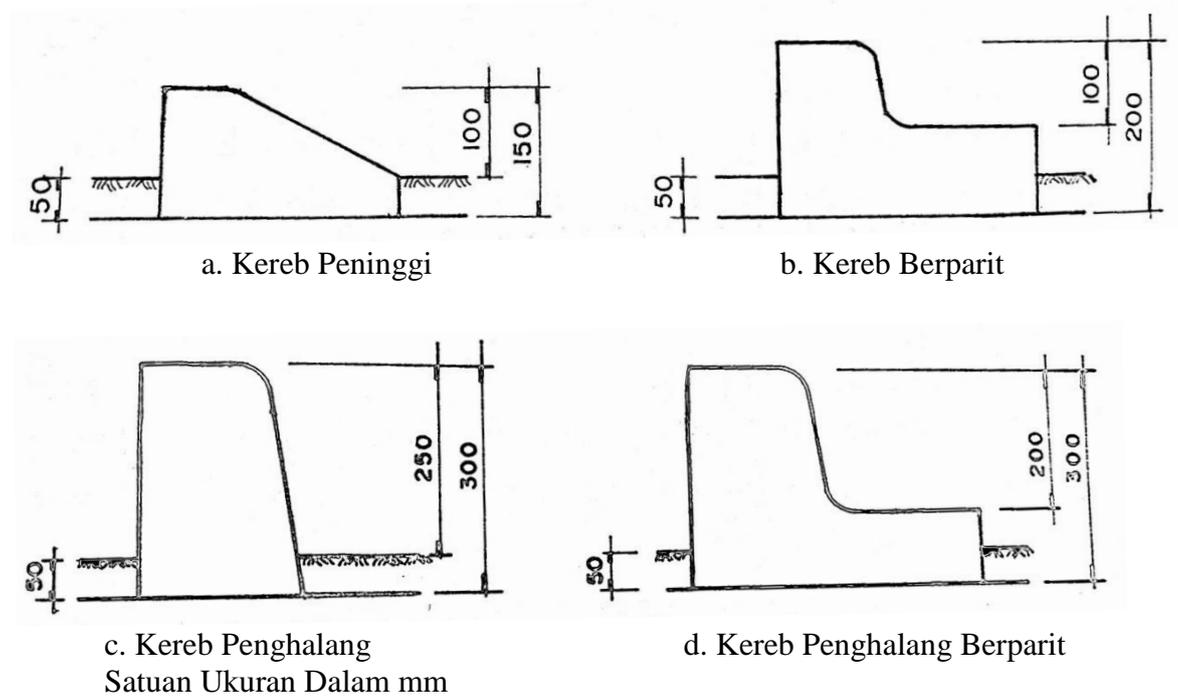
(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

b. Bangunan Pelengkap Jalan

Bangunan pelengkap jalan adalah sebagai berikut :

1. Kereb

Kereb adalah penonjolan atau peninggian tepi perkerasan atau bahu jalan yang terutama dimaksudkan untuk keperluan-keperluan drainase, mencegah keluarnya kendaraan dari tepi perkerasan dan memberikan ketegasan tepi perkerasan.



Gambar 2.3 Jenis Kereb

(Sumber : Sukirman, 1999 : 32,33)

2. Pengaman tepi

Pengaman tepi bertujuan untuk memberikan ketegasan tepi badan jalan. Jika terjadi kecelakaan dapat mencegah kendaraan keluar dari badan jalan.

c. Bagian Konstruksi Jalan

1. Lapisan perkerasan jalan

Lapisan perkerasan jalan dapat dibedakan atas lapisan permukaan, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah dan lapisan tanah dasar.

2. Lapisan pondasi atas

Lapis Pondasi (*Base Course*) merupakan struktur utama perkerasan jalan yang diletakkan di atas lapis pondasi bawah yang memikul, membagikan dan meneruskan tegangan-tegangan yang berada dibawahnya.

3. Lapisan pondasi bawah

Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*) adalah lapisan perkerasan jalan yang langsung diletakkan di atas permukaan tanah dasar atau langsung diletakkan di bawah lapis pondasi atas. Lapisan ini memikul dan meneruskan beban yang diterima dari lapisan pondasi atas ke tanah dasar.

4. Lapisan tanah dasar

Lapisan Tanah Dasar (*Sub Grade*) adalah tanah asli atau tanah timbunan dimana di atasnya diletakkan struktur perkerasan jalan. Kekuatan tanah dasar adalah faktor utama dalam menentukan ketebalan dari perkerasan, kekuatan tanah dasar dapat diperkirakan berdasarkan klasifikasi tanah dari tanah tersebut atau hasil pemeriksaan *California Bearing Ratio* (CBR).

d. Ruang Manfaat Jalan (Rumaja)

Ruang manfaat jalan diperuntukkan bagi median, perkerasan jalan, jalur pemisah, bahu jalan, saluran tepi jalan, lereng, ambang pengaman, timbunan, galian, gorong-gorong, perlengkapan jalan dan bangunan pelengkap jalan (Standar Geometrik tentang Jalan Tol NO.007-BM-2009).

Ruang manfaat jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus mempunyai lebar dan tinggi ruang bebas serta kedalaman sebagai berikut:

1. Lebar ruang bebas diukur di antara 2 (dua) garis vertikal batas bahu jalan
2. Tinggi ruang bebas minimal 5 (lima) meter di atas permukaan jalur lalu lintas tertinggi
3. Kedalaman ruang bebas minimal 1,50 meter di bawah permukaan jalur lalu

lintas terendah

e. Ruang Milik Jalan (Rumija)

Ruang milik jalan diperuntukkan bagi ruang manfaat jalan dan pelebaran jalan maupun penambahan lajur lalu lintas di kemudian hari serta kebutuhan ruangan untuk pengamanan jalan tol dan fasilitas jalan tol. Ruang milik jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Lebar dan tinggi ruang bebas ruang milik jalan minimal sama dengan lebar dan tinggi ruang bebas ruang manfaat jalan.
2. Lahan ruang milik jalan harus dipersiapkan untuk dapat menampung minimal 2 x 3 lajur lalu lintas terpisah dengan lebar ruang milik jalan minimal 40 meter di daerah antarkota dan 30 meter di daerah perkotaan;
3. Lahan pada ruang milik jalan diberi patok tanda batas sekurang-kurangnya satu patok setiap jarak 100 meter dan satu patok pada setiap sudut serta diberi pagar pengaman untuk setiap sisi.
4. Pada kondisi jalan tol layang, perlu diperhatikan ruang milik jalan di bawah jalan tol.

f. Ruang Pengawasan Jalan (Ruwasja)

Ruang pengawasan jalan diperuntukkan bagi pandangan bebas pengemudi dan pengamanan konstruksi jalan. Batas ruang pengawasan jalan bebas hambatan untuk jalan tol adalah 40 meter untuk daerah perkotaan dan 75 meter untuk daerah antarkota, diukur dari as jalan tol. Dalam hal jalan tol berdempetan dengan jalan umum ketentuan tersebut diatas tidak berlaku.

Jalan ditetapkan keberadaannya dalam suatu ruang yang telah didefinisikan di atas. Ruang- ruang tersebut dipersiapkan untuk menjamin kelancaran dan keselamatan serta kenyamanan pengguna jalan disamping keutuhan konstruksi jalan. Dimensi ruang yang minimum untuk menjamin keselamatan pengguna jalan diatur sesuai dengan jenis prasarana dan

fungsinya. standar ukuran dimensi minimum dari Rumaja, Rumija, dan Ruwasja jalan bebas hambatan untuk jalan tol dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Dimensi Ruang jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol

Bagian-bagian jalan	Komponen Geometri	Dimensi Minimum (m)			
		Jalan Tol			
RUMAJA			Antarkota	Perkotaan	
	Lebar badan jalan		30,0	22,0	
	Tinggi		5,00	5,00	
	Kedalaman		1,50	1,50	
RUMIJA		JBH	Jalan Tol		
			Antarkota	Perkotaan	Layang/ Terowongan
	Lebar	30	40	30	20
RUWASJA		JBH	Antarkota	Perkotaan	Jembatan
	Lebar ⁽¹⁾	75	75	40	100 ⁽²⁾

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Catatan : ⁽¹⁾ Lebar diukur dari As jalan

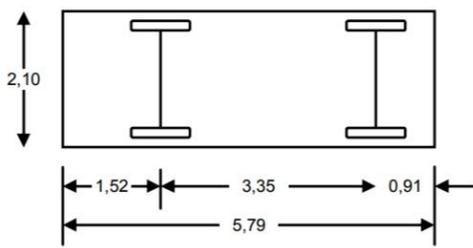
⁽²⁾ 100 m ke hilir dan 100 m ke hulu

2.3.2 Parameter Perencanaan Geometrik Jalan

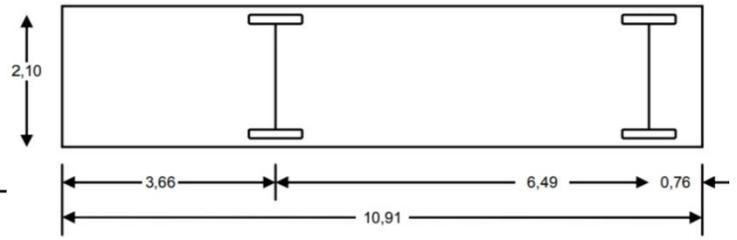
Dalam perencanaan geometrik jalan terdapat beberapa parameter perencanaan yang akan dibicarakan dalam bab ini, seperti kendaraan rencana, kecepatan rencana, volume dan kapasitas jalan dan tingkat pelayanan yang diberikan oleh jalan tersebut. Parameter-parameter ini merupakan penentu tingkat kenyamanan dan keamanan yang dihasilkan oleh suatu bentuk geometrik jalan.

a. Kendaraan Rencana

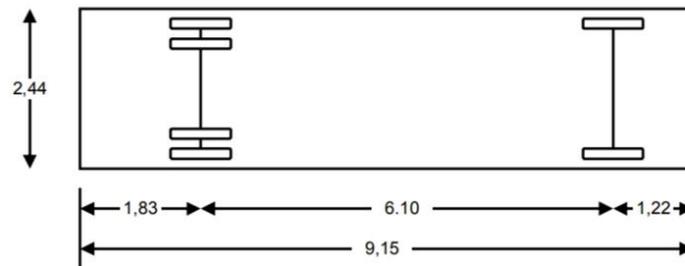
Kendaraan rencana adalah kendaraan yang merupakan wakil dari kelompoknya, dipergunakan untuk merencanakan bagian-bagian dari jalan. Untuk perencanaan geometrik jalan, ukuran lebar kendaraan rencana akan mempengaruhi lebar lajur yang dibutuhkan. Dimensi standar kendaraan rencana untuk desain jalan bebas hambatan untuk jalan tol dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan seperti diilustrasikan pada Gambar 2.4.



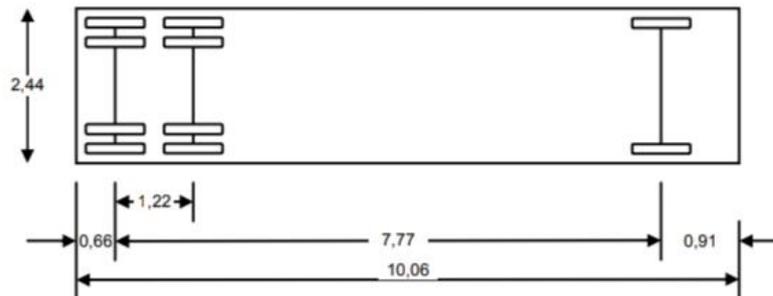
a. Dimensi Mobil Penumpang



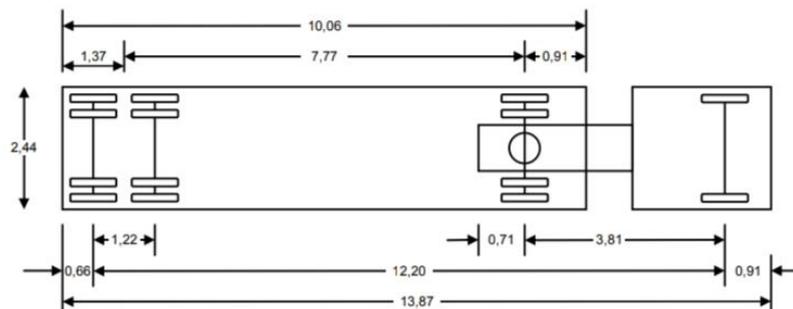
b. Dimensi Bus



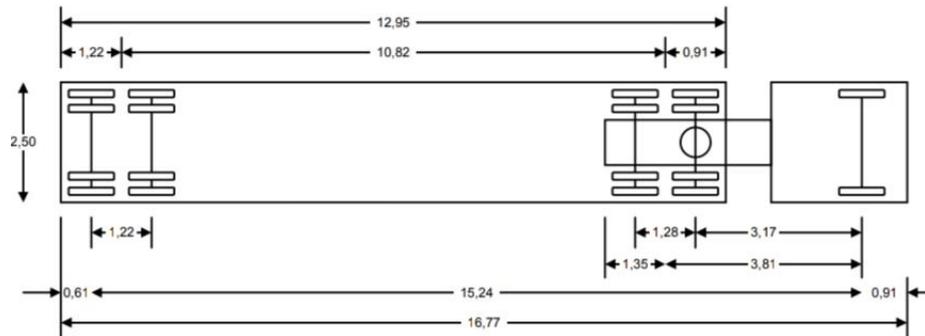
c. Kendaraan truk 2 as



d. Kendaraan truk 3 as



e. Kendaraan truk 4 as



f. Kendaraan truk 5 as

Gambar 2.4 Kendaraan Rencana

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Tabel 2.8 Dimensi kendaraan rencana

Jenis Kendaraan	Dimensi kendaraan (m)			Dimensi Tonjolan (m)		Radius Putar Minimum (m)
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang	
Mobil penumpang	1,3	2,1	5,8	0,9	1,5	7,31
Bus	3,2	2,4	10,9	0,8	3,7	11,86
Truk 2 as	4,1	2,4	9,2	1,2	1,8	12,80
Truk 3 as	4,1	2,4	12,0	1,2	1,8	
Truk 4 as	4,1	2,4	13,9	0,9	0,8	12,20
Truk 5 as	4,1	2,5	16,8	0,9	0,6	13,72

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

b. Standar Jumlah Lajur

Standar minimal jumlah lajur untuk jalan tol adalah 2 (dua) lajur per arah atau 4/2 D dan ditentukan berdasarkan tipe alinyemen sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.9 dan prakiraan volume lalu lintas yang dinyatakan dalam kendaraan/jam sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.9 Tipe Alinyemen

Tipe Alinyemen	Naik + Turun (m/km)	Lengkung Horizontal (rad/km)
Datar	< 10	< 1,0
Perbukitan	10 - 30	1,0 – 2,5
Pegunungan	> 30	> 2,5

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Tabel 2.10 Jumlah Lajur Berdasarkan Arus Lalu Lintas

Tipe Alinyemen	Arus Lalu Lintas per Arah (kend/jam)	Jumlah Lajur (Minimal)
Datar	≤ 2.250	4/2 D
	≤ 3.400	6/2 D
	≤ 5.000	8/2 D
Perbukitan	≤ 1.700	4/2 D
	≤ 2.600	6/2 D
Pegunungan	≤ 1.450	4/2 D
	≤ 2.150	6/2 D

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Keterangan : D artinya pemisahan lajur

c. Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (emp)

Nilai emp untuk jalan bebas hambatan untuk jalan tol dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Ekuivalensi mobil penumpang (emp)

Tipe Alinyemen	Arus Lalu Lintas per Arah (kend/jam)		Emp		
	4/2 D	6/2 D	MHV	LB	LT
Datar	2.250	3.400	1,6	1,7	2,5
	≥ 2.800	≥ 4.150	1,7	1,5	2,0
Perbukitan	1.700	2.600	2,2	2,3	4,3
	≥ 2.250	≥ 3.300	1,8	1,9	3,5
Pegunungan	1.450	2.150	2,6	2,6	4,8
	≥ 2.000	≥ 3.000	2,0	2,0	3,8

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

d. Kecepatan Rencana

Kecepatan adalah besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh. Biasanya dinyatakan dalam km/jam. Kecepatan ini menggambarkan nilai gerak dari kendaraan.

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang dipilih untuk keperluan perencanaan setiap bagian jalan raya seperti tikungan, kemiringan jalan, jarak pandang dan lain-lain. Kecepatan yang dipilih tersebut adalah kecepatan tertinggi menerus dimana kendaraan dapat berjalan dengan aman dan keamanan itu sepenuhnya tergantung dari bentuk jalan.

Kecepatan rencana jalan bebas hambatan untuk jalan tol harus memenuhi kriteria sebagaimana ditetapkan pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Kecepatan rencana (V_R)

Medan Jalan	V_R (km/jam) minimal	
	Antarkota	Perkotaan
Datar	120	80-100
Perbukitan	100	80
Pegunungan	80	60

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Catatan : Kecepatan rencana 140 km/jam (mauk di range) diijinkan untuk jalan tol antarkota setelah dilakukan analisis tertentu.

e. Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas menunjukkan jumlah kendaraan yang melintasi satu titik pengamatan dalam satu satuan waktu (hari, jam, menit). Volume lalu lintas yang tinggi membutuhkan lebar perkerasan jalan yang lebih lebar, sehingga tercipta kenyamanan dan keamanan. Sebaliknya jalan yang terlalu lebar untuk volume lalu lintas rendah cenderung membahayakan, karena pengemudi cenderung mengemudikan kendaraannya pada kecepatan yang lebih tinggi sedangkan kondisi jalan belum tentu memungkinkan.

1. Volume Jam Perencanaan

Perkiraan volume lalu lintas selama umur rencana jalan yang diperlukan disebut volume jam rencana (VJR). Volume Jam Rencana dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$VJR = VLHR \times \frac{K}{100} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

VLHR : Prakiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahrencana lalu lintas (smp/hari)

K : Faktor volume lalu lintas jam sibuk (%), disebut faktor K untuk jalan bebas hambatan $k= 11\%$

2. Kapasitas Jalan

Kapasitas adalah volume kendaraan maksimum yang dapat melewati jalan persatuan waktu dalam kondisi tertentu.

Rumus umumnya :

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{SP} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

C : Kapasitas (smp/jam)

C_0 : Kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w : Faktor penyesuaian lebar jalan

FC_{SP} : Faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan tak terbagi)

Tabel 2.13 Kapasitas Dasar

Tipe Jalan Bebas Hambatan/ Tipe Alinyemen	Kapasitas dasar (smp/jam/lajur)
Empat dan enam lajur terbagi	
- Datar	2300
- Bukit	2250
- Gunung	2150
Dua lajur tak terbagi	
- Datar	3400
- Bukit	3300
- Gunung	3200

(Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Tabel 2.14 Faktor Penyesuaian Lebar Jalan

Tipe jalan bebas hambatan	Lebar efektif jalur lalu lintas (m)	FC_w
Empat-lajur terbagi Enam-lajur terbagi	Per lajur	
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Dua-lajur tak-terbagi	Total kedua arah	
	6,5	0,96
	7	1,00
	7,5	1,04

(Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Tabel 2.15 Faktor Penyesuaian Pemisah Arah

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC _{SP}	Jalan bebas hambatan tak terbagi	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88

(Sumber : manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

3. Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai DS menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Nilai DS ideal adalah tidak lebih dari 0,80.

Rumus umumnya :

$$DS = Q/C \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

Q : Arus rata-rata kendaraan (smp/jam)

C : Kapasitas (smp/jam)

f. Standar Pelayanan dan Karakteristik Operasi

Tingkat pelayanan jalan bebas hambatan untuk jalan tol didefinisikan sebagai kemampuan ruas jalan bebas hambatan untuk menampung lalu lintas pada keadaan tertentu. Tingkat pelayanan minimum untuk jalan bebas hambatan untuk jalan tol antarkota adalah B dan tingkat pelayanan minimum untuk jalan bebas hambatan untuk jalan tol perkotaan adalah C. Karakteristik operasi terkait untuk tingkat pelayanan di jalan tol dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Standar Pelayanan dan Karakteristik Operasi

Tingkat Pelayanan	Karakteristik Operasi Terkait
A	<ul style="list-style-type: none"> • Arus bebas • Volume pelayanan 1400 smp/jam pada 2 lajur 1 arah
B	<ul style="list-style-type: none"> • Arus stabil dengan kecepatan tinggi

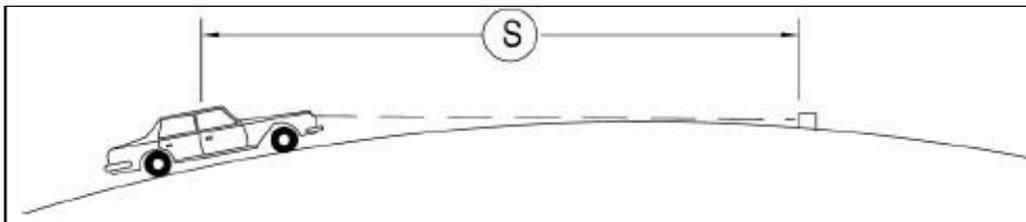
Lanjutan Tabel 2.16

Tingkat Pelayanan	Karakteristik Operasi Terkait
B	<ul style="list-style-type: none"> • Voume pelayanan maksimal 2000 smp/jam pada 2 lajur 1 arah
C	<ul style="list-style-type: none"> • Arus masih stabil • Volume pelayanan pada 2 lajur 1 arah < 75% kapasitas • Lajur (yaitu 1500 smp/jam/lajur atau 3000 smp/jam untuk 2 lajur)

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

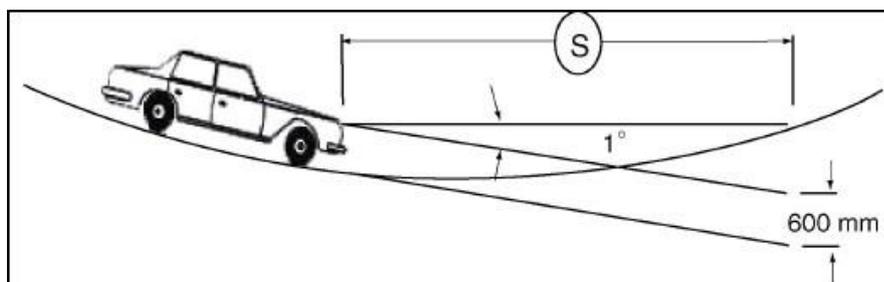
g. Jarak Pandangan

Jarak pandang (S) diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 108 cm dan tinggi halangan 60 cm diukur dari permukaan jalan. Setiap bagian jalan harus memenuhi jarak pandang.



Gambar 2.5 Jarak pandang henti pada lengkung vertikal cembung

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)



Gambar 2.6 Jarak pandang henti pada lengkung vertikal cekung

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Jarak pandang henti (S_s) terdiri dari 2 (dua) elemen jarak, yaitu:

- Jarak awal reaksi (S_r) adalah jarak pergerakan kendaraan sejak pengemudi melihat suatu halangan yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat pengemudi menginjak rem

b. Jarak awal pengereman (S_b) adalah jarak pergerakan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti.

Jarak pandang henti dapat terjadi pada dua kondisi tertentu sebagai berikut:

1. Jarak pandang henti (S_s) pada bagian datar dihitung dengan rumus:

$$S_s = 0,278 \times V_R \times T + 0,039 \frac{V_R^2}{a} \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Jarak pandang henti (S_s) akibat kelandaian dihitung dengan rumus:

$$S_s = 0,278 \times V_R \times T + \frac{V_R^2}{254 \left[\left(\frac{a}{9,81} \right) \pm G \right]} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

V_R = Kecepatan rencana (km/jam)

T = Waktu reaksi, ditetapkan 2,5 detik

a = Tingkat perlambatan (m/dtk²), ditetapkan 3,4 meter/ dtk²

G = Kelandaian jalan (%)

Tabel 2.17 berisi S_s minimum yang dihitung berdasarkan rumus di atas dengan pembulatan- pembulatan untuk berbagai V_R .

Tabel 2.17 Jarak pandang henti (S_s) minimum

V_R	Jarak Awal Reaksi (m)	Jarak Awal Pengereman (m)	Jarak Pandang Henti (m)	
			Perhitungan	Pembulatan
120	83,3	163,4	246,7	250
100	69,4	113,5	182,9	185
80	55,6	72,6	128,2	130
60	41,7	40,8	82,5	85

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Tabel 2.18 berisi S_s minimum dengan kelandaian yang dihitung berdasarkan rumus di atas dengan pembulatan- pembulatan untuk berbagai V_R .

Tabel 2.18 Jarak pandang henti (S_s) minimum dengan kelandaian

V_R (km/jam)	Jarak Pandang Henti (m)											
	Turunan						Tanjakan					
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
120	252	257	263	269	275	281	243	238	234	230	227	223
100	187	190	194	198	203	207	180	177	174	172	169	167
80	131	133	136	138	141	144	127	125	123	121	120	118
60	84	86	87	88	90	92	82	81	80	79	78	77

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2.4 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal. Alinyemen horizontal juga dikenal dengan nama “situasi jalan” atau “trase jalan”. Alinyemen horizontal terdiri dari garis-garis lurus yang dihubungkan dengan garis-garis lengkung. Garis lengkung tersebut dapat terdiri dari busur lingkaran ditambah busur peralihan, busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja.

2.4.1 Panjang Bagian Lurus

Dengan mempertimbangkan faktor keselamatan pemakai jalan, ditinjau dari segi kelelahan pengemudi, maka panjang maksimum bagian jalan yang lurus harus ditempuh dalam waktu tidak lebih dari 2,5 menit (sesuai V_R).

Panjang bagian lurus ditetapkan menurut Tabel 2.19 sebagai berikut:

Tabel 2.19 Panjang Bagian Lurus Maksimum

V_R (km/jam)	Panjang Bagian Lurus Maksimum (m)	
	Perhitungan	Pembulatan
140	5833,3	5850
120	5000,0	5000
100	4166,7	4200
80	3333,3	3350
60	2500,0	2500

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2.4.2 Panjang Tikungan

Panjang tikungan (L_t) dapat terdiri dari panjang busur lingkaran (L_c) dan panjang 2 (dua) lengkung spiral (L_s) atau beberapa lengkung spiral yang diukur sepanjang sumbu jalan. Untuk menjamin kelancaran dan kemudahan mengemudikan kendaraan pada saat menikung, maka panjang suatu tikungan tidak kurang dari 6 detik perjalanan dengan V_R . Panjang ini dapat diperhitungkan berdasarkan V_R atau ditetapkan berdasarkan Tabel 2.20 sebagai berikut:

Tabel 2.20 Panjang tikungan minimum

V_R (km/jam)	Panjang Tikungan Minimum (m)
1200	200
100	170
80	140
60	100

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2.4.3 Jari – Jari Tikungan

Jari - jari tikungan minimum (R_{min}) ditetapkan sebagai berikut:

$$R_{min} = \frac{V_R^2}{127(e_{max}+f_{max})} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

R_{min} : Jari-jari tikungan minimum (m)

V_R : Kecepatan rencana (km/jam)

e_{max} : Superelevasi maksimum (%) (Tabel 2.21)

f_{max} : Koefisien gesek maksimum (Tabel 2.22)

Tabel 2.21 Superelevasi maksimum berdasarkan tata guna lahan dan iklim

Superelevasi Maksimum	Kondisi Yang Digunakan
10%	Maksimum untuk jalan tol antarkota
8%	Maksimum untuk jalan tol dengan curah hujan tinggi
6%	Maksimum untuk jalan tol perkotaan
4%	Maksimum untuk jalan tol perkotaan dengan kepadatan tinggi

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Tabel 2.22 Koefisien gesek maksimum berdasarkan V_R

V_R (km/jam)	Koefisien Gesek Maksimum (f_{max})
120	0,092
100	0,116
80	0,140
60	0,152

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Tabel 2.23 Panjang Jari-jari minimum (dibulatkan)

e_{max}	V_R (km/jam)	f_{max}	$(e/100+f)$	R_{min} (m)	
				Perhitungan	Pembulatan
10,0	120	0,092	0,192	590,6	590
10,0	100	0,116	0,216	364,5	365
10,0	80	0,140	0,240	210,0	210

Lanjutan Tabel 2.23

e_{\max}	V_R (km/jam)	f_{\max}	$(e/100+f)$	R_{\min} (m)	
				Perhitungan	Pembulatan
10,0	60	0,152	0,252	112,5	110
8,0	120	0,092	0,172	659,2	660
8,0	100	0,116	0,196	401,7	400
8,0	80	0,140	0,220	229,1	230
8,0	60	0,152	0,232	122,2	120
6,0	120	0,092	0,152	746,0	745
6,0	100	0,116	0,176	447,4	445
6,0	80	0,140	0,200	252,0	250
6,0	60	0,152	0,212	133,7	135
4,0	120	0,092	0,132	859,0	860
4,0	100	0,116	0,156	504,7	505
4,0	80	0,140	0,180	280,0	280
4,0	60	0,152	0,192	147,6	150

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2.4.4 Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan (L_s) berfungsi untuk memberikan kesempatan kepada pengemudi untuk mengantisipasi perubahan alinyemen jalan dari bentuk lurus (R tak terhingga) sampai bagian lengkung jalan dengan jari jari R tetap, dengan demikian, gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan saat melintasi tikungan berubah secara berangsur-angsur, baik ketika kendaraan mendekati tikungan maupun meninggalkan tikungan.

Ketentuan lengkung peralihan adalah sebagai berikut:

1. Bentuk lengkung peralihan yang digunakan adalah bentuk spiral (*clothoide*)
2. Panjang lengkung peralihan ditetapkan atas pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:
 - a. waktu perjalanan melintasi lengkung peralihan
 - b. tingkat perubahan kelandaian melintang jalan
 - c. gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan
 - d. tingkat perubahan kelandaian relatif
3. L_s ditentukan yang memenuhi ke empat kriteria tersebut di atas, sehingga dipilih nilai L_s yang terpanjang.

A. Waktu Perjalanan Melintasi Lengkung Peralihan

Waktu perjalanan melintasi lengkung peralihan harus dibatasi untuk menghindari kesan perubahan alinyemen yang mendadak. Kriteria ini dihitung dengan rumus:

$$L_s = \frac{V_R}{3,6} T \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

V_R : Kecepatan rencana (km/jam)

T : Waktu tempuh pada lengkung peralihan (detik), ditetapkan 2 detik

Atau digunakan Tabel 2.24 berikut :

Tabel 2.24 L_s min berdasarkan waktu perjalanan

V_R (km/jam)	L_s min (m)
120	67
100	66
80	45
60	34

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

B. Tingkat Perubahan Kelandaian

Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan (r_e) dari bentuk kelandaian normal ke kelandaian superelevasi penuh tidak boleh melampaui r_{e-max} yang ditetapkan sebagai berikut:

1. Untuk $V_R \leq 70$ km/jam, $r_{e-max} = 0,035$ m/m/detik,
2. Untuk $V_R \geq 80$ km/jam, $r_{e-max} = 0,025$ m/m/detik.

Kriteria ini dihitung dengan rumus:

$$L_s = \frac{\left(\frac{e_m - e_n}{100}\right) V_R}{3,6 r_e} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

e_m : Superelevasi maksimum (%)

e_n : Superelevasi norma (%)

V_R : Kecepatan rencana (km/jam)

r_e : Tingkat perubahan kelandaian melintang jalan (m/m/det)

Atau digunakan Tabel 2.25 berikut :

Tabel 2.25 L_s min berdasarkan tingkat perubahan kelandaian melintang jalan

e_m (%)	L_s min (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
10,0	107	89	71	38
9,5	100	83	67	36
9,0	93	78	62	33
8,5	87	72	58	31
8,0	80	67	53	29
7,5	73	61	49	26
7,0	67	56	44	24
6,5	60	50	40	21
6,0	53	44	36	19
5,5	47	39	31	17
5,0	40	33	27	14
4,5	33	28	22	12
4,0	27	22	18	10
3,5	20	17	13	7
3,0	13	11	9	5
2,5	7	6	4	2
2,0	0	0	0	0

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

C. Gaya Sentrifugal yang Bekerja pada Kendaraan

Gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan dapat diantisipasi berangsur-angsur pada lengkung peralihan dengan aman. Kriteria ini dihitung dengan rumus :

$$L_s = \frac{0,0214V_R^3}{RC} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

V_R : Kecepatan rencana (km/jam)

R : Radius tikungan (m)

C : Perubahan maksimum percepatan arah radial (m/det³), digunakan 1,2 m/det³

Atau digunakan Tabel 2.26 berikut :

Tabel 2.26 L_s min berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

R (m)	L_s min (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
2500	12	7		
2000	15	9	5	
1500	21	12	6	3
1400	22	13	7	3
1300	24	14	7	3
1200	26	15	8	3
1000	31	18	9	4
900	34	20	10	4
800	39	22	11	5
700	44	26	13	6
600	51	30	15	6
500		36	18	8
400		45	23	10
300			30	13
250			37	15
200				19
175				22
150				26
140				28
130				30
120				32
110				35

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

D. Tingkat Perubahan Kelandaian Relatif

Tingkat perubahan kelandaian relatif (Δ) dari bentuk kemiringan normal ke bentuk kemiringan superelevasi penuh tidak boleh melampaui Δ maksimum yang ditetapkan seperti pada Tabel 2.27.

Tabel 2.27 Tingkat perubahan kelandaian melintang maksimum

V_R (km/jam)	Δ
120	1/263
100	1/227
80	1/200
60	1/167

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Panjang pencapaian perubahan kelandaian dari kemiringan normal sampai ke kemiringan superelevasi penuh (L_s) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$L_s = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta} (b_w) \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

- w : Lebar satu lajur lalu lintas (m)
 e_d : Superelevasi rencana (%)
 n_1 : Jumlah lajur yang diputar
 b_w : Faktor penyesuaian untuk jumlah lajur yang diputar
 Δ : tingkat perubahan kelandaian realtif (m/m)

Tikungan yang memiliki R dengan nilai $e = LN$ tidak memerlukan lengkung peralihan dan tikungan yang memiliki R dengan nilai $e = RC$ tidak memerlukan superelevasi.

Tabel 2.28 Hubungan parameter perencanaan lengkung horizontal dengan V_R ($e_{max} = 10\%$)

R (m)	$V_R = 120$ km/jam											
	e	Ls (m)		e	Ls (m)		e	Ls (m)		e	Ls (m)	
		2 lajur	4 lajur									
7000	LN	0	0									
5000	LN	0	0									
3000	2,5	23	35	RC	16	25	LN	0	0	LN	0	0
2500	2,9	28	42	2,2	18	27	LN	0	0	LN	0	0
2000	3,6	34	52	2,7	22	33	RC	14	22	LN	0	0
1500	4,8	45	68	3,5	29	43	2,4	17	26	LN	0	0
1400	5,1	48	72	3,8	31	46	2,6	19	28	RC	12	18
1300	5,4	52	77	4,0	33	49	2,8	20	30	RC	12	18
1200	5,9	56	83	4,3	35	53	3,0	21	32	RC	12	18
1000	6,9	66	99	5,1	42	63	3,5	25	38	2,2	13	20
900	7,6	72	108	5,6	46	69	3,9	28	42	2,5	15	22
800	8,5	80	120	6,2	51	76	4,3	31	46	2,7	16	25
700	9,4	89	134	6,9	57	85	4,8	35	52	3,1	19	28
600	10,0	95	142	7,9	64	97	5,5	40	59	3,6	21	32
500	$R_{min} = 590$			9,0	73	110	6,4	46	69	4,2	25	37
400				9,9	81	121	7,5	54	81	5,0	30	45
300				$R_{min} = 365$			9,0	65	97	6,3	38	56
250							9,7	70	105	7,1	43	64
200							$R_{min} = 210$			8,2	49	74
175							8,8	53	79			
150							9,4	56	85			
140							9,6	58	87			
130							9,8	59	88			
120							10,0	60	90			
110							10,0	60	90			
	$R_{min} = 110$											

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

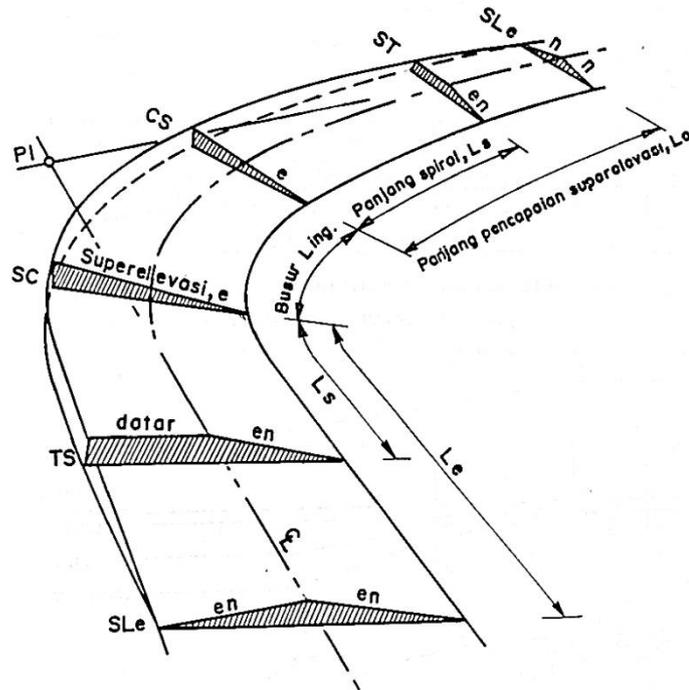
Keterangan :

- e_{\max} : Superelevasi maksimum 10%
- R : Jari-jari lengkung
- e : Tingkat superelevasi
- Ls : Panjang minimum pencapaian superelevasi run off (tidak termasuk panjang pencapaian superelevasi run out)
- LN : Lereng normal
- RC : Lereng luar diputar sehingga perkerasan mendapat kemiringan melintang sebesar lereng normal

2.4.5 Diagram Superelevasi (Diagram Kemiringan Melintang)

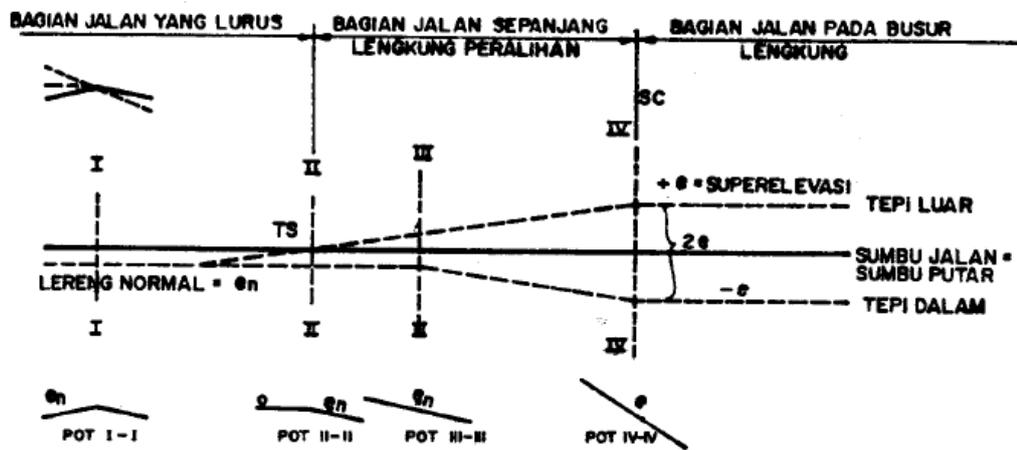
Diagram superelevasi menggambarkan pencapaian superelevasi dari lereng normal ke superelevasi penuh, sehingga dengan mempergunakan diagram superelevasi dapat ditentukan bentuk penampang melintang pada setiap titik disuatu lengkung horizontal yang direncanakan. Diagram superelevasi digambar berdasarkan elevasi sumbu jalan sebagai garis nol. Elevasi tepi perkerasan diberi tanda positif atau negatif ditinjau dari ketinggian sumbu jalan. Tanda positif untuk elevasi tepi perkerasan yang terletak lebih tinggi dari sumbu jalan dan tanda negatif untuk elevasi tepi perkerasan yang terletak lebih rendah dari sumbu jalan.

Pada jalan tanpa median yang mempergunakan sumbu jalan sebagai sumbu putar, seperti pada gambar 2.7, maka diagram superelevasiya seperti gambar 2.8. Metoda ini paling umum dipergunakan untuk jalan 2 jalur 2 arah tanpa median (jalan raya tidak terpisah). Metoda ini tidak mengganggu perencanaan penampang memanjang jalan yang bersangkutan. Terlihat pada gambar 2.8 titik-titik sumbu jalan tidak berubah kedudukannya dari tempat semula (potongan I-I, II-II, III-III, dan IV-IV).



Gambar 2.7 Perubahan Kemiringan Melintang

(Sumber : Sukirman, 1999 : 118)



Gambar 2.8 Diagram Superelevasi dengan sumbu jalan sebagai sumbu putar

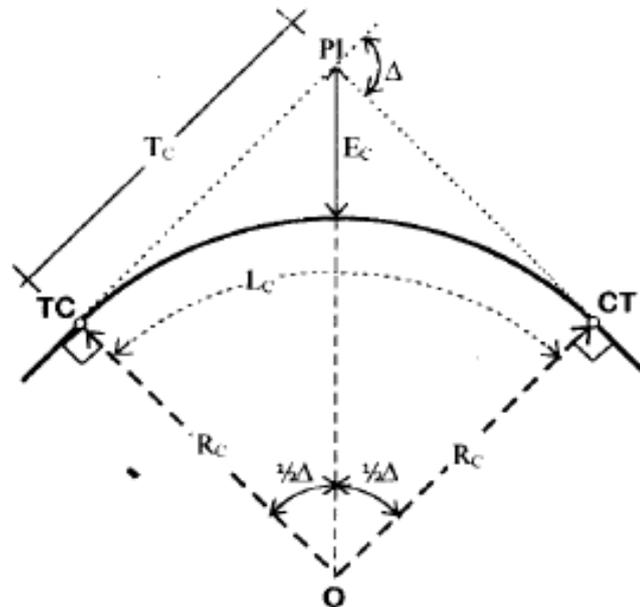
(Sumber :Sukirman, 1999 : 118)

2.4.6 Bentuk Lengkung Horizontal

Ada 3 bentuk lengkung horizontal yaitu:

- a. Lengkung busur lingkaran sederhana (*full circle*)

Full circle adalah jenis tikungan yang hanya terdiri dari bagian suatu lingkaran saja. Tikungan *full circle* hanya digunakan untuk R (jari-jari tikungan) yang besar agar tidak terjadi patahan, karena dengan R kecil maka diperlukan superelevasi yang besar.



Gambar 2.9 Komponen Lengkung busur lingkaran sederhana (*full circle*)

(Sumber : Hendarsin, 2000 : 95)

Keterangan:

- Δ : sudut tikungan
- E : jarak PI ke puncak busur lingkaran
- O : titik pusat lingkaran
- L : panjang lengkung (CT – TC)
- R : jari-jari tikungan
- PI : titik potong antara 2 garis tangen
- T : jarak TC-PI atau PI-CT

Rumus yang digunakan pada tikungan *full circle* yaitu :

$$T_c = R_c \tan^{1/2} \Delta \dots \dots \dots (2.10)$$

$$E_c = T_c \tan^{1/4} \Delta \dots \dots \dots (2.11)$$

$$L_c = \frac{\pi}{180} \cdot \Delta \cdot R_c \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

Δ : sudut tangen

T_c : panjang tangen jarak dari TC ke PI atau PI ke CT

R_c : jari-jari lingkaran

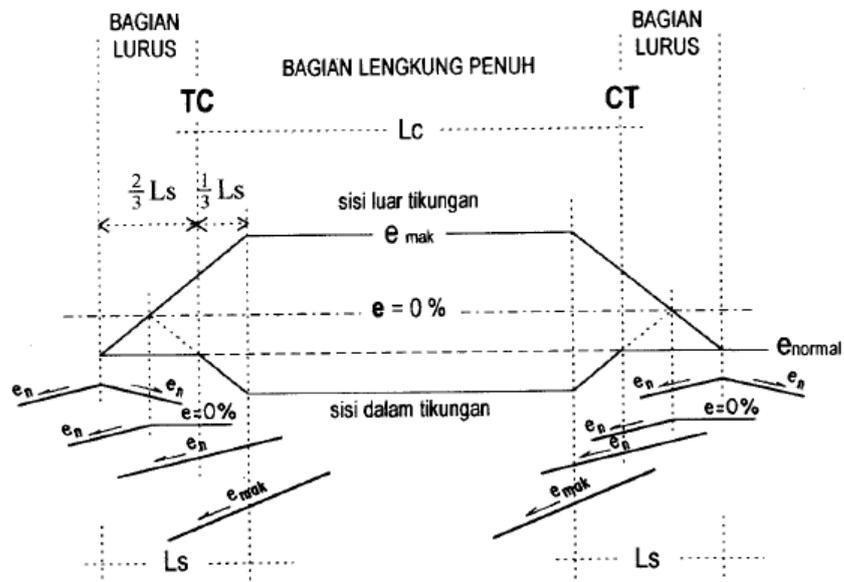
E_c : jarak luar dari PI ke busur lingkaran

L_c : panjang busur lingkaran

Tabel 2.29 Jari-jari tikungan yang tidak memerlukan lengkung peralihan

VR (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Rmin (m)	2500	1500	900	500	350	250	130	60

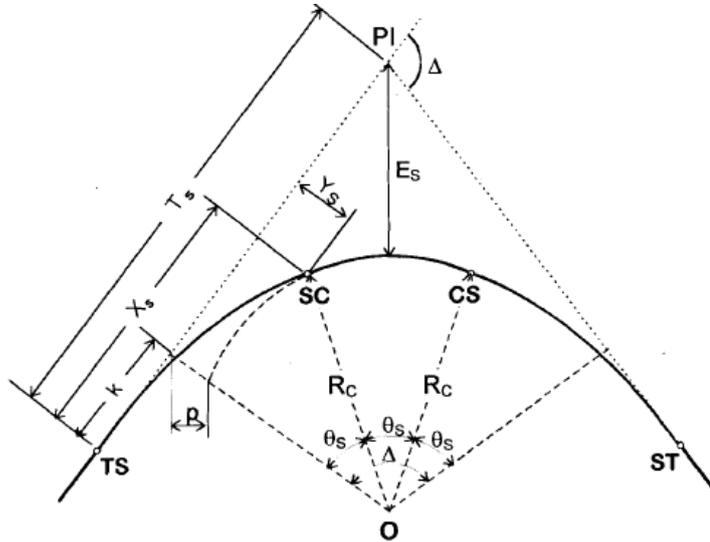
(Sumber : Hendarsin, 2000 : 96)



Gambar 2.10 Metoda pencapaian superelevasi pada tikungan tipe FC

(Sumber : Hendarsin, 2000 : 105)

- b. Lengkung busur lingkaran dengan lengkung peralihan (*spiral-circle-spiral*).



Gambar 2.11 Komponen *spiral-circle-spiral*

(Sumber : Hendarsin, 2000 : 97)

Keterangan :

- X_s : absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik TS ke SC
(jarak lurus lengkung peralihan)
- Y_s : ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen, jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung.
- L_s : panjang lengkung peralihan (panjang dari titik TS ke SC atau SC ke ST).
- L_c : panjang busur lingkaran (panjang dari SC ke CS)
- T_s : panjang tangen dari titik P1 ke titik TS atau ke titik ST
- TS : titik dari tangen ke spiral
- SC : titik dari spiral ke lingkaran
- E_s : jarak dari P1 ke busur lingkaran
- θ_s : sudut lengkung spiral
- R_c : jari-jari lingkaran
- p : pergeseran tangen terhadap spiral

k : absis dari p pada garis tangen spiral

Adapun rumus yang digunakan untuk menentukan tikungan *spiral– circle–spiral* yaitu:

$$X_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40Rc^2} \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6Rc} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\theta_s = \frac{90 L_s}{\pi Rc} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$p = \frac{L_s^2}{6Rc} - Rc (1 - \text{Cos } \theta_s) \dots\dots\dots(2.16)$$

$$k = L_s \left(1 - \frac{L_s^3}{40Rc^2} \right) - Rc \sin \theta_s \dots\dots\dots(2.17)$$

$$T_s = (Rc + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k \dots\dots\dots(2.18)$$

$$E_s = \frac{(Rc + p)}{\text{Cos } \frac{1}{2}(\Delta)} - Rc \dots\dots\dots(2.19)$$

$$L_c = \frac{(\Delta - 2\theta_s)}{180} \times \pi \times Rc \dots\dots\dots(2.20)$$

$$L_{tot} = L_c + 2L_s \dots\dots\dots(2.21)$$

Kontrol : $L_{tot} < 2.T_s$

Keterangan :

L_s : panjang lengkung peralihan

X_s : absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik TS ke SC

Y_s : ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen

L_c : panjang busur lingkaran

T_s : panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST

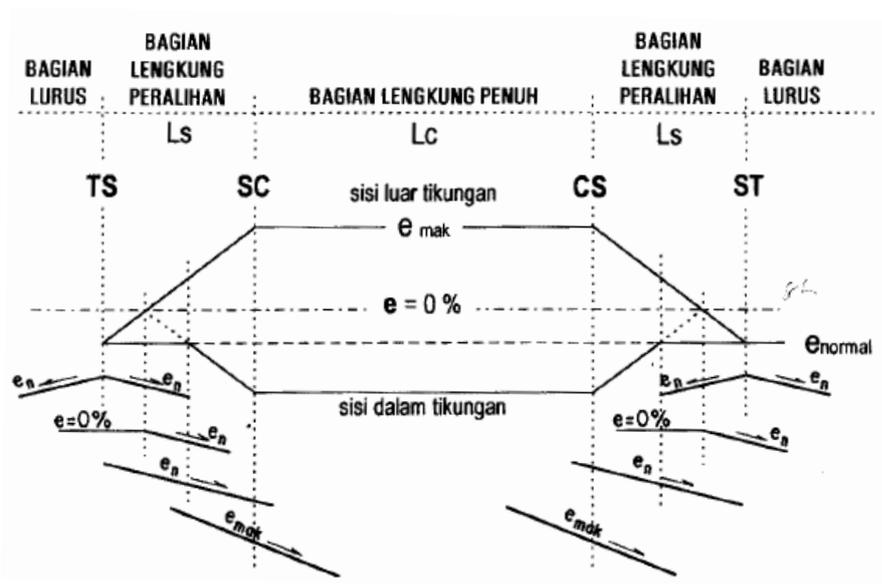
E_s : jarak dari PI ke busur lingkaran

θ_s : sudut lengkung spiral

Δ : sudut tangen

- R_c : jari-jari lingkaran
 p : pergeseran tangen terhadap spiral
 k : absis dari p pada garis tangen spiral

Jika diperoleh $L_c < 25$ m, maka sebaiknya tidak digunakan bentuk S-C-S, tetapi digunakan lengkung S-S, yaitu lengkung yang terdiri dari dua buah lengkung peralihan.

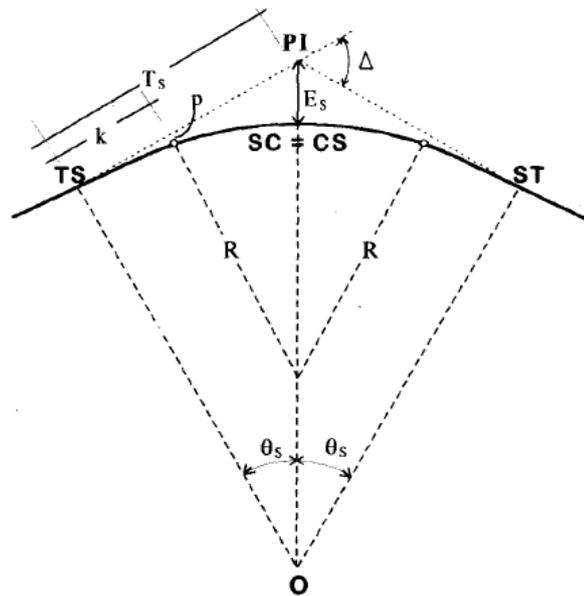


Gambar 2.12 Metoda pencapaian superelevasi pada tikungan tipe SCS

(Sumber : Hendarsin, 2000 : 104)

- c. Lengkung peralihan saja (*spiral-spiral*).

Spiral-Spiral (S-S) yaitu bentuk tikungan yang digunakan pada keadaan yang sangat tajam.



Gambar 2.13 Komponen *spiral-spiral*.

(Sumber : Hendarsin, 2000 : 99)

Keterangan :

- Ls : panjang lengkung peralihan (panjang dari titik TS ke SC atau SC ke ST).
- Lc : panjang busur lingkaran (panjang dari SC ke CS)
- Ts : panjang *tangent* dari titik P1 ke titik TS atau ke titik ST
- TS : titik dari tangen ke spiral
- SC : titik dari spiral ke lingkaran
- Es : jarak dari P1 ke busur lingkaran
- θ_s : sudut lengkung spiral
- R : jari-jari lingkaran
- p : pergeseran tangen terhadap spiral
- k : absis dari p pada garis tangen spiral

Untuk *spiral –spiral* ini berlaku rumus sebagai berikut:

$$\theta_s = \frac{1}{2} \Delta \dots\dots\dots(2.22)$$

$$L_{tot} = 2Ls \dots\dots\dots(2.23)$$

Untuk menentukan L_s , dapat menggunakan rumus:

$$L_s = \frac{(\theta_s \cdot \pi \cdot Rc)}{90} \dots\dots\dots (2.24)$$

Kontrol : $L_{tot} < 2 \cdot T_s$

$$k = k' \times L_s$$

$$p = p' \times L_s$$

dimana k' dan p' dapat dilihat pada tabel 2.30

Sedangkan untuk nilai p , k , T_s , dan E_s , dapat juga menggunakan rumus (2.16) sampai (2.19)

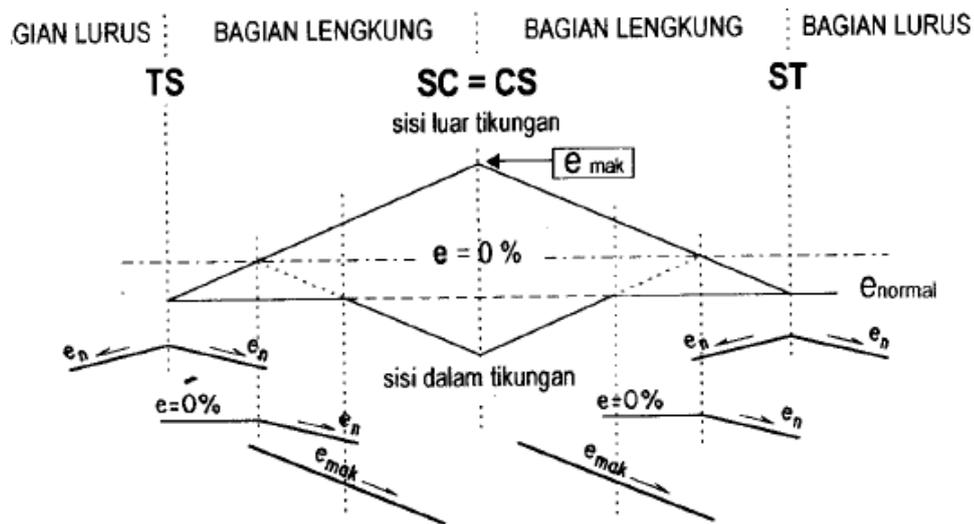
Tabel 2.30 Besaran p' dan k'

q_s (°)	p'	k'	q_s (°)	p'	k'	q_s (°)	p'	k'
0.5	0.0007272	0.4999987	9	0.0131706	0.4995862	17.5	0.0260445	0.498409
1	0.0014546	0.4999949	9.5	0.0139121	0.4995387	18	0.0268238	0.4983146
1.5	0.002182	0.4999886	10	0.0146551	0.4994884	18.5	0.027606	0.4982172
2	0.0029098	0.4999797	10.5	0.0153997	0.4994356	19	0.0283913	0.498117
2.5	0.0036378	0.4999683	11	0.0161461	0.49938	19.5	0.0291797	0.4980137
3	0.0043663	0.4999543	11.5	0.0168943	0.4993218	20	0.0299713	0.4979075
3.5	0.0050953	0.4999377	12	0.0176444	0.4992609	20.5	0.0307662	0.4977983
4	0.0058249	0.4999187	12.5	0.0183965	0.4991973	21	0.0315644	0.4976861
4.5	0.0065551	0.499897	13	0.0191507	0.499131	21.5	0.0323661	0.4975708
5	0.007286	0.4998728	13.5	0.019907	0.4990619	22	0.0331713	0.4974525
5.5	0.0080178	0.4998461	14	0.0206655	0.4989901	22.5	0.0339801	0.4973311
6	0.0094843	0.4998167	14.5	0.0214263	0.4989155	23	0.0347926	0.4972065
6.5	0.0102191	0.4997848	15	0.0221896	0.4988381	23.5	0.0356088	0.4970788
7	0.0102191	0.4997503	15.5	0.0229553	0.498758	24	0.0364288	0.4969479
7.5	0.010955	0.4997132	16	0.0237236	0.498675	24.5	0.0372528	0.4968139
8	0.0116922	0.499735	16.5	0.0244945	0.4985892	25	0.0380807	0.4966766
8.5	0.0124307	0.499312	17	0.0252681	0.4985005	25.5	0.0389128	0.496536
26	0.0397489	0.4963922	31	0.048355	0.4947665	36	0.0574601	0.4927769
26.5	0.0405893	0.496245	31.5	0.0492422	0.4945845	36.5	0.0584008	0.4925566
27	0.041434	0.4960945	32	0.050134	0.4943988	37	0.0593473	0.4923322
27.5	0.042283	0.4959406	32.5	0.051031	0.4942094	37.5	0.0602997	0.4921037
28	0.0431365	0.4957834	33	0.0519333	0.4940163	38	0.0612581	0.4918711
28.5	0.0439946	0.4956227	33.5	0.0528408	0.4938194	38.5	0.0622224	0.4916343

Lanjutan Tabel 2.30

qs (°)	p'	k'	qs (°)	p'	k'	qs (°)	p'	k'
29	0.0448572	0.4954585	34	0.0537536	0.4936187	39	0.0631929	0.4913933
29.5	0.0457245	0.4952908	34.5	0.0546719	0.4934141	39.5	0.0641694	0.491148
30	0.0465966	0.4951196	35	0.0555957	0.4932057	40	0.0651522	0.4908985
30.5	0.0474735	0.4949448	35.5	0.05625	0.4929933			

(Sumber : Hendarsin, 2000 : 100)



Gambar 2.14 Metoda pencapaian superelevasi pada tikungan tipe SS

(Sumber : Hendarsin, 2000 : 105)

2.4.7 Pelebaran perkerasan pada lengkung horizontal

Pelebaran pada tikungan dimaksudkan untuk mempertahankan kondisi pelayanan operasional lalu lintas di bagian tikungan, sehingga sama dengan pelayanan operasional di bagian jalan yang lurus. Pada jalan bebas hambatan untuk jalan tol, dimana perencanaan tikungan sedapat mungkin menggunakan jari-jari tikungan yang besar, pelebaran jalur lalu lintas tidaklah signifikan. Akan tetapi pada perencanaan ramp yang berbentuk loop, pelebaran jalur lalu lintas di tikungan harus diperhatikan, sesuai dengan rumus:

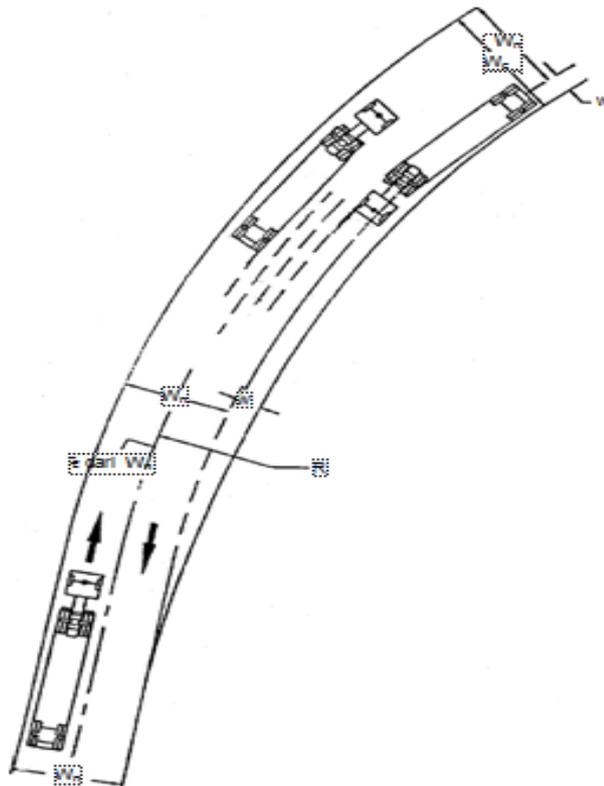
$$W = W_c - W_n \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

W = Pelebaran jalan pada tikungan (m)

W_c = Lebar jalan pada tikungan (m)

W_n = Lebar jalan pada jalan lurus (m)



Gambar 2.15 Pelebaran pada tikungan untuk kendaraan semi trailer

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Kendaraan rencana yang akan digunakan dalam perencanaan pelebaran jalan di tikungan adalah Kendaraan golongan V truk semi trailer kombinasi besar dengan 5 sumbu. Pelebaran jalur lalu lintas di tikungan berdasarkan kecepatan rencana dan radius tikungan ditetapkan seperti pada Tabel 2.31 sebagai berikut.

Tabel 2.31 Pelebaran jalur lalu lintas di tikungan

R (m)	$V_R = 120$ km/jam		$V_R = 100$ km/jam		$V_R = 80$ km/jam		$V_R = 60$ km/jam	
	Wc (m)	Pelebaran, W (m)	Wc (m)	Pelebaran, W (m)	Wc (m)	Pelebaran, W (m)	Wc (m)	Pelebaran, W (m)
3000	7,24	0,04	7,21	0,01	7,17	0,00	7,13	0,00
2500	7,27	0,07	7,23	0,03	7,19	0,00	7,15	0,00
2000	7,31	0,11	7,27	0,07	7,22	0,02	7,18	0,00
1500	7,38	0,18	7,33	0,13	7,27	0,07	7,22	0,02
1000	7,49	0,29	7,43	0,23	7,37	0,17	7,30	0,10
900	7,53	0,33	7,46	0,26	7,39	0,19	7,33	0,13
800	7,57	0,37	7,50	0,30	7,43	0,23	7,36	0,16
700	7,62	0,42	7,55	0,35	7,47	0,27	7,40	0,20
600	7,69	0,49	7,61	0,41	7,53	0,33	7,45	0,25
500	$R_{min} = 590$ m		7,69	0,49	7,60	0,40	7,51	0,31
400			7,81	0,61	7,71	0,51	7,61	0,41
300			$R_{min} = 365$ m		7,88	0,68	7,77	0,57
250					8,02	0,82	7,89	0,69
200					$R_{min} = 210$ m		8,07	0,87
150							8,35	1,15
140							8,43	1,23
130							8,52	1,32
120							8,63	1,43
110							8,76	1,56
100							$R_{min} = 110$ m	

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2.5 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal dengan permukaan perkerasan jalan melalui sumbu jalan untuk jalan 2 lajur 2 arah atau melalui tepi dalam masing-masing perkerasan untuk jalan dengan median. Seringkali disebut juga penampang memanjang jalan. Alinyemen vertikal yang mengikuti muka tanah asli akan mengurangi pekerjaan tanah, tetapi mungkin saja akan mengakibatkan jalan itu mempunyai banyak tikungan. Muka jalan sebaiknya diletakkan sedikit di atas muka tanah asli sehingga memudahkan dalam pembuatan drainase jalan, terutama di daerah yang datar (Sukirman,1999).

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam alinyemen vertikal :

a. Kelandaian Alinyemen Vertikal

1) Landai Minimum

Berdasarkan kepentingan arus lalu lintas, landai ideal adalah landai datar (0%). Sebaliknya jika ditinjau dari kepentingan drainase, jalan yang

berlandai adalah jalan yang ideal. Dalam suatu perencanaan disarankan menggunakan :

- Landai datar untuk jalan-jalan yang diatas tanah timbunan yang tidak mempunyai kereb. Lereng melintang jalan dianggap cukup mengaliri air di atas badan jalan dan kemudian ke lerengjalan.
- Landai 0,15 % dianjurkan untuk jalan-jalan diatas tanah timbunan dengan medan datar dan mempergunakan kereb. Kelandaian ini cukup membantu mengalirkan air hujan ke saluranpembuangan.
- Landai minimum sebesar 0,3-0,5 % dianjurkan dipergunakan untuk jalan-jalan di daerah galian atau jalan yang memakai kereb. Lereng melintang hanya cukup untuk mengalirkan air hujan yang jatuh diatas badan jalan, sedangkan landaai jalan dibutuhkan untuk membuat kemiringan dasar saluransamping

2) Landai Maksimum

Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah.

Kelandaian maksimum dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.32 Kelandaian maksimum

V_R (km/jam)	Kelandaian Maksimum (%)		
	Datar	Perbukitan	Pegunungan
120	3	4	5
100	3	4	6
80	4	5	6
60	5	6	6

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

3) Panjang kritis suatu kelandaian

Panjang kritis yaitu panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sedemikian sehingga penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan rencana.

Tabel 2.33 Panjang Landai Kritis

V_R (km/jam)	Landai (%)	Panjang Landai Kritis (m)
120	3	800
	4	500
	5	400
100	4	700
	5	500
	6	400
80	5	600
	6	500
60	6	500

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

b. Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal harus disediakan pada setiap lokasi yang mengalami perubahan kelandaian dengan tujuan mengurangi guncangan akibat perubahan kelandaian dan menyediakan jarak pandang henti.

Jenis lengkung vertikal dilihat dari segi letak titik perpotongan kedua bagian lurus (tangen) ada dua yaitu :

1) Lengkung Vertikal Cembung

Lengkung vertikal cembung adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada diatas permukaan jalan yang bersangkutan. Pada lengkung vertikal cembung, pembatasan berdasarkan jarak pandang dapat dibedakan atas 2 keadaan yaitu (Sukirman, 1999) :

a. Jika jarak pandang henti lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cembung ($S < L$), seperti gambar 2.16

$$L = \frac{AS^2}{658} \dots\dots\dots(2.25)$$

- b. Jika jarak pandang henti lebih besar dari panjang lengkung vertikal cembung ($S > L$), seperti gambar 2.17

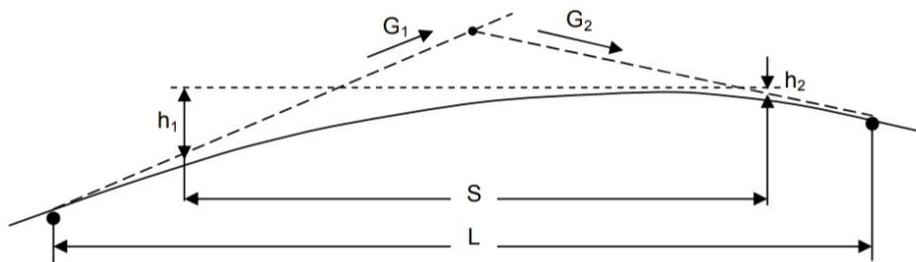
$$L = 2S - \frac{658}{A} \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

L = Panjang lengkung vertikal (m)

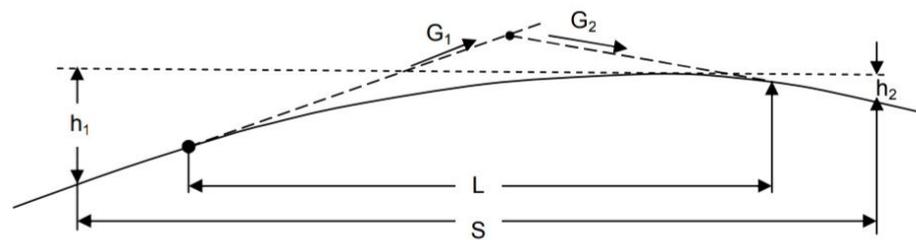
A = Perbedaan aljabar landai (%)

S = Jarak pandang henti (m)



Gambar 2.16 Jarak pandang henti lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cembung

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)



Gambar 2.17 Jarak pandang henti lebih besar dari panjang lengkung vertikal cembung

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Tabel 2.34 Panjang lengkung verikal cekung berdasarkan jarak pandang henti

Perbedaan Aljabar Landai (%)	Panjang Lengkung Vertikal Cembung (m)			
	V _R = 120 km/jam	V _R = 100 km/jam	V _R = 80 km/jam	V _R = 60 km/jam
12,0		625	309	132
11,0		573	283	121
10,0		521	257	110
9,0		469	232	99
8,0	760	417	206	88
7,0	665	365	180	76
6,0	570	313	155	61
5,0	475	261	129	39
4,0	380	209	96	36
3,0	285	151	48	36
2,0	171	60	48	36
1,0	72	60	48	36

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2) Lengkung Vertikal Cekung

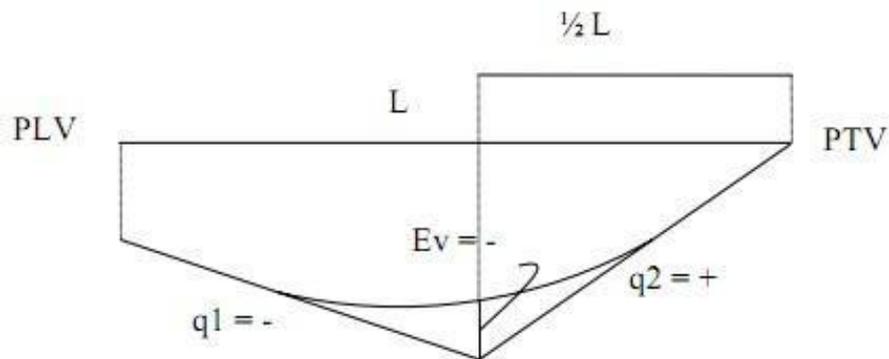
Lengkung vertikal cekung yaitu lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada di bawah permukaan jalan. Disamping bentuk lengkung yang berbentuk parabola sederhana, panjang lengkung vertikal juga harus ditentukan dengan memperhatikan (Sukirman, 1999) :

- a. Jarak penyinaran lampu kendaraan.
- b. Jarak padangan bebas di bawah bangunan.
- c. Persyaratan drainase.
- d. Kenyamanan mengemudi.
- e. Keluwesan bentuk.

Pada lengkung vertikal cekung ada dua cara dalam menentukan harga $A = q_2 - q_1$, antara lain :

- 1. Bila persen ikut serta dihitung, maka rumus yang digunakan sama seperti lengkung vertikal cembung.
- 2. Bila persen tidak digunakan, maka rumusnya menjadi :

$$Y' = EV = \frac{(g_2 - g_1)}{8} xLv \dots\dots\dots(2.27)$$



Gambar 2.18 Lengkung Verikal Cekung

Tabel 2.35 Panjang lengkung vertikal cekung berdasarkan jarak pandang henti

Perbedaan Aljabar Landai (%)	Panjang Lengkung Vertikal Cekung (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
12,0		536	353	208
11,0		491	324	191
10,0		446	294	174
9,0		402	265	156
8,0	503	357	236	139
7,0	440	313	206	122
6,0	377	268	177	104
5,0	315	223	147	87
4,0	252	179	117	66
3,0	169	115	69	36
2,0	72	60	48	36
1,0	72	60	48	36

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

Tabel 2.36 Lengkung vertikal cekung berdasarkan faktor kenyamanan

Perbedaan Aljabar Landai (%)	Panjang Lengkung Vertikal Cekung (m)			
	$V_R = 120$ km/jam	$V_R = 100$ km/jam	$V_R = 80$ km/jam	$V_R = 60$ km/jam
12,0		304	194	109
11,0		278	178	100
10,0		253	162	91
9,0		228	146	82
8,0	292	203	130	73
7,0	255	177	113	64
6,0	219	152	97	55
5,0	182	127	81	46
4,0	146	101	65	36
3,0	109	76	49	27
2,0	73	51	32	18
1,0	36	25	16	9

(Sumber : Standar Geometrik tentang Jalan Tol No.007-BM-2009, 2009)

2.6 Perencanaan Galian dan Timbunan

Didalam perencanaan jalan raya diusahakan agar volume galian (*cut*) sama dengan volume timbunan (*fill*). Dengan mengkombinasikan alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal memungkinkan kita menghitung banyaknya volume galian dan timbunan. Untuk mendapatkan volume galian dan timbunan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya :

a. Penentuan *stationing*

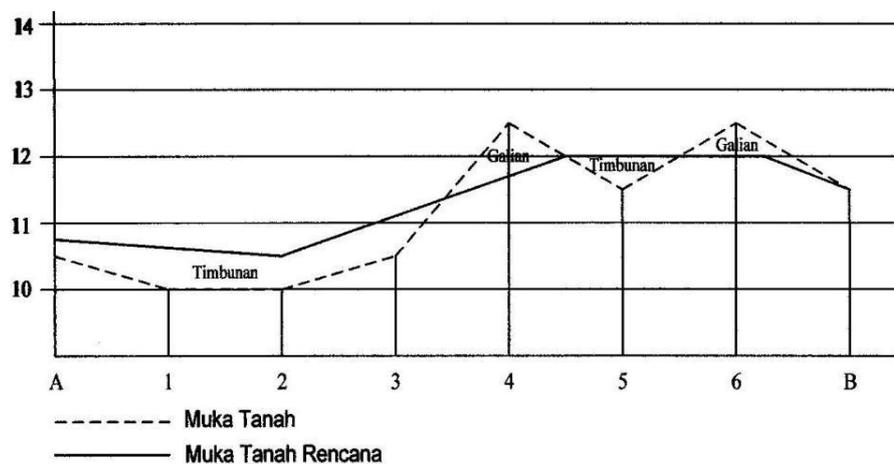
Panjang horizontal jalan dapat dilakukan dengan membuat titik-titik *stationing* (patok-patok km) disepanjang ruas jalan.

Ketentuan umum untuk pemasangan patok-patok tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk daerah datar dan lurus, jarak antara patok 100 m.
- 2) Untuk daerah bukit, jarak antara patok 50m.
- 3) Untuk daerah gunung, jarak antar patok 25 m.

b. Profil Memanjang

Profil memanjang (*Long Section*) ini memperlihatkan kondisi elevasi dari muka tanah asli dan permukaan tanah jalan yang direncanakan. Profil memanjang direncanakan dengan menggunakan skala horizontal 1:1000 dan skala vertikal 1:100.

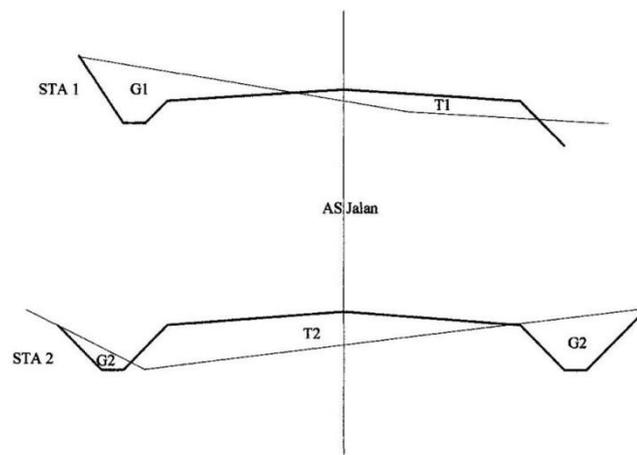


Gambar 2.19 Potongan Memanjang

c. Profil Melintang

Profil melintang (*Cross Section*) digambarkan untuk setiap titik *stationing* (patok) yang telah ditetapkan. Profil ini menggambarkan bentuk permukaan tanah asli dan rencana jalan dalam arah tegak lurus as jalan secara horizontal. Kondisi permukaan tersebut diperlihatkan sampai sebatas minimal separuh daerah penguasaan jalan ke arah kiri dan kanan jalan tersebut.

Menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997 menetapkan bagian-bagian profil melintang diantaranya adalah jalur lalu lintas, median dan jalur tepian (jika ada), bahu jalur pejalan kaki, selokan dan lereng. Informasi yang diperoleh dari hasil penggambaran profil melintang ini adalah luas dari bidang-bidang galian atau timbunan yang dikerjakan pada titik tersebut.



Gambar 2.20 Profil Melintang

d. Menghitung volume galian dan timbunan

Untuk menghitung volume galian dan timbunan diperlukan data luas penampang dari masing-masing potongannya. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan alat planimetri atau dengan cara membagi-bagi setiap penampang menjadi bentuk bangun-bangun sederhana, misalnya bangun segitiga, segi empat dan trapesium atau dengan menggunakan program komputer seperti autocad dan kemudian dijumlahkan.

Perhitungan volume galian dan timbunan ini dilakukan secara pendekatan.

Semakin kecil jarak antar STA maka harga volume galian dan timbunannya juga semakin mendekati harga yang sesungguhnya. Sebaliknya semakin besar jarak antar STA maka semakin jauh ketidak tepatan hasil yang diperoleh.

Ketelitian dan ketepatan dalam menghitung besarnya volume galian dan timbunan akan sangat berpengaruh terhadap biaya yang akan dikeluarkan dalam waktu pelaksanaan lapangan nantinya. Pekerjaan tanah yang terlalu besar akan berdampak semakin mahalanya biaya pembuatan jalan yang direncanakan.

2.7 Perencanaan Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberi pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanan diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti.

Tanah saja biasanya tidak cukup kuat dan tahan tanpa adanya deformasi yang berarti terhadap beban berulang roda kendaraan. Untuk itu perlu lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda, atau lapisan paling atas dari badan jalan. Lapisan tambahan ini dibuat dari bahan khusus yang terpilih, selanjutnya disebut lapis keras/perkerasan.

Lapisan perkerasan jalan adalah suatu struktur konstruksi yang terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas yang berada diatasnya menyebar kelapisan dibawahnya. Beban lalu lintas yang bekerja di atas konstruksi perkerasan meliputi :

- a. Beban/gaya vertikal (berat kendaraan dan beratmuatannya).
- b. Beban/gaya horisontal (gaya remkendaraan).
- c. Getaran-getaran roda kendaraan.

2.7.1 Jenis Konstruksi Perkerasan

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi :

- a. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
Yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
Yaitu perkerasan yang menggunakan semen (PC) sebagai bahan pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
- c. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)
Yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dimana dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur (Silvia Sukirman, 1999). Untuk itu, maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekauan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawahnya. Konstruksi ini umumnya mempunyai tingkat kenyamanan yang lebih baik bagi penganbdara dibandingkan dengan konstruksi beton semen sebagai lapis permukaan tanpa aspal.

Tabel 2.37 Perbandingan antar Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur

No	Perbedaan	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
1	Material	Beton Semen	Aspal
2	Indeks Pelayanan	Sangat baik selama umur rencana	Berkurang tergantung beban lalu lintas, waktu dan frekuensinya
3	Ketahanan	Rusak dapat meluas dalam waktu yang singkat	Kerusakan tidak bersifat merambat, kecuali terkikis oleh air
4	Umur Rencana	15 sampai 40 tahun	5 sampai 10 tahun
5	Biaya Konstruksi	Lebih mahal	Lebih murah
6	Biaya Pemeliharaan	Biaya pemeliharaan kecil, lebih terhadap sambungan	Biaya pemeliharaan yang dikeluarkan lebih mahal

(Sumber : Manu, A. I, 1995)

2.7.2 Kriteria Konstruksi Perkerasan Jalan

Konstruksi perkerasan jalan harus dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pengguna jalan, oleh karena itu harus dipenuhi syarat sebagai berikut :

a. Syarat untuk lalu lintas

Adapun syarat untuk lalu lintas pada perkerasan jalan, antara lain :

1. Permukaan harus rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.
2. Permukaan cukup kaku, tidak mudah mengalami deformasi akibat beban yang bekerja.
3. Permukaan cukup memiliki kekesatan sehingga mampu memberikan tahanan gesek yang baik antara ban kendaraan permukaan jalan.
4. Permukaan jalan tidak mengkilap (tidak menyilaukan jika terkena sinar matahari).

b. Syarat kekuatan struktural

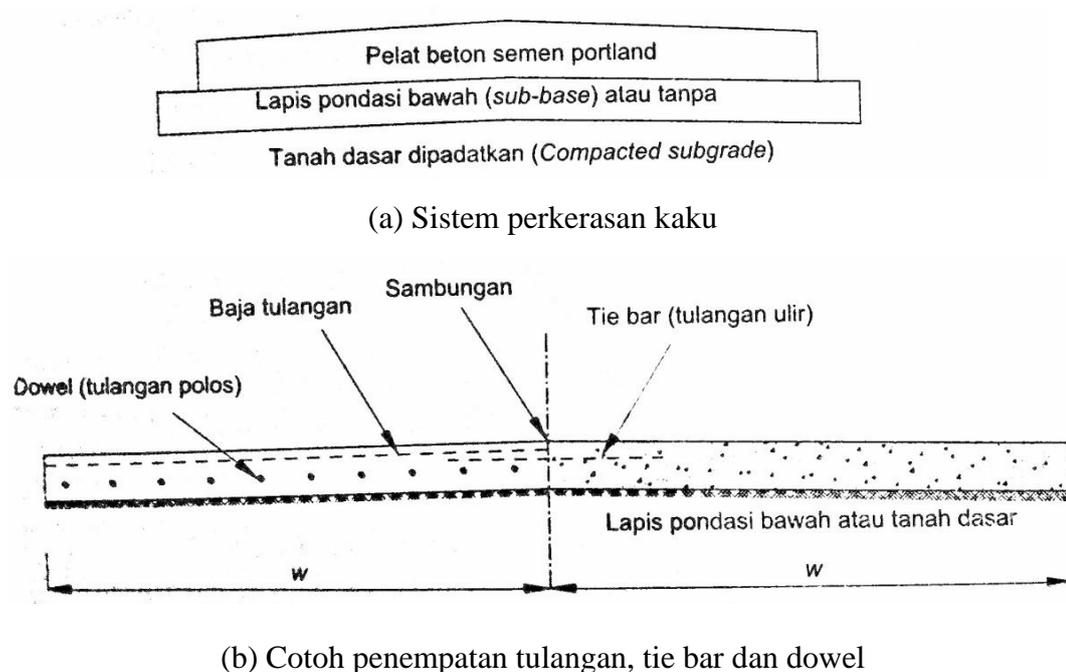
Adapun syarat untuk lalu lintas pada perkerasan jalan, antara lain :

1. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Kedap terhadap air sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
3. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang ada di permukaan jalan dapat cepat dialirkan
4. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi permanen .

2.8 Perkerasan Kaku

Menurut Hardiyatmo (2015) perkerasan kaku terdiri dari pelat beton semen Portland yang terletak langsung di atas tanah dasar, atau di atas lapisan granuler (*subbase*). Perkerasan kaku memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi. Pelat beton dapat mendistribusikan beban dari atas menuju ke bidang tanah

dasar dengan area yang cukup luas dibandingkan dengan perkerasan lentur. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa bagian terbesar dari kekuatan struktur perkerasan kaku diperoleh dari pelat beton sendiri. Pada gambar 2.1 menunjukkan contoh tipikal komponen perkerasan kaku dan peletakan tulangnya.



Gambar 2.21 Sistem Perkerasan Kaku

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

Dalam perancangan perkerasan kaku, terdapat hal-hal yang penting yang perlu dipelajari (Hary Christady Hadiyatmo, 2015) :

- Tegangan akibat beban, modulus tanah dasar, keruntuhan akibat kelelahan (*fatigue*), beban lalu lintas berulang dan hitungan tebal perkerasan.
- Pengaruh tanah dasar, pemompaan (*pumping*) butiran halus dan perancangan drainase.
- Gerakan pelat yang tertahan/lengkungan (*warping/curling*), perancangan sambungan dan tulangan (untuk perkerasan JRCP dan CRCP).

2.8.1 Tipe-Tipe Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu perkerasan beton dengan sambungan dan tanpa sambungan. Adapun yang disebut perkerasan beton konvensional antara lain :

- a) Perkerasan beton bertulang tak bersambungan (*Jointed Plain Concrete Pavement, JPCP*)
- b) Perkerasan beton bertulang bersambungan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement, JRCP*)
- c) Perkerasan beton bertulang kontinyu (*Continuous Reinforced Concrete Pavement, CRCP*)

Selain tipe konvensional, terdapat pula tipe perkerasan beton prategang, beton pracetak dan *roller compacted concrete* (RCC).

A. Perkerasan Beton Tak Bertulang

Perkerasan beton tak bertulang biasanya dibuat bersambungan, sehingga disebut perkerasan beton tak bertulang bersambungan (*Jointed Plain Concrete Pavement, JPCP*). JPCP terdiri dari blok-blok beton dengan ukuran tertentu dengan tebal sekitar 15 - 30 cm yang diletakkan di atas lapis pondasi bawah. Pelat beton tak bertulang membutuhkan jarak sambungan melintang dan memanjang yang pendek untuk mengendalikan retak termal supaya masih dalam batas toleransi. Sambungan arah memanjang dicocokkan dengan lebar lajur (sekitar 3,6 m) dan sambungan melintang berkisar antara 4,5 – 9 m atau 15 – 30 ft (FHWA, 2006).

Pada perkerasan beton tak bertulang bersambungan (JPCP) Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd. T-14-2003) menyarankan jarak maksimum sambungan arah memanjang 3 - 4 m dan sambungan arah melintang maksimum 25 kali tebal pelat, atau maksimum 5 m. Kinerja perkerasan beton bertulang tergantung pada :

1. Kerataan permukaan perkerasan awal yang dipengaruhi oleh cara pelaksanaan.

2. Tebal perkerasan yang sesuai untuk mencegah timbulnya retak beton di bagian tengah.
3. Batasan jarak sambungan, juga untuk mencegah timbulnya retak beton di bagian tengah.
4. Perencanaan dan pelaksanaan sambungan serta teknik pelaksanaan yang baik.

B. Perkerasan Beton Bertulang

Perkerasan beton bertulang terdiri dari pelat beton semen Portland dengan tebal tertentu yang diperkuat dengan tulangan. Tulangan bisa berupa batang baja terpisah atau anyaman baja di las (*welded steel mats*). Tulangan berfungsi untuk mengendalikan retak, bukan untuk mendukung beban. Retak pada perkerasan beton bertulang bersambungan disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Retak awal yang terjadi setelah pengecoran, akibat terlalu banyak air yang menguap.
2. Perubahan temperatur yang menimbulkan gerakan kembang-susut pelat yang tertahan oleh gesekan antara pelat dan tanah dasar.
3. Tekukan atau lengkungan (*warping*) pada pelat akibat perbedaan temperatur dan kelembaban antara bagian atas dan bawah pelat beton.
4. Beban lalu lintas yang menimbulkan tegangan-tegangan dalam pelat.

Terdapat dua tipe perkerasan beton dengan tulangan, antara lain :

- a. Perkerasan beton bertulang bersambungan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement, JRCP*). Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd. T-14-2003) mengacu pada Austroad (1992) menyarankan panjang pelat antara 8 – 15 m, sedangkan FHWA (2006) menyarankan jarak sambungan melintang antara 9 – 30 m atau 30 – 100 ft. JRCP mengizinkan terjadinya retak pada pelat di antara sambungan-sambungan dan membutuhkan tulangan temperatur sehingga dibutuhkan pemasang *dowel*, karena jarak sambungan yang agak jauh. Secara tipikal luas penampang tulangan JRCP yang dibutuhkan jarang melebihi 0,75% dari luas penampang pelat betonnya. Tulangan dalam JRCP

tidak berfungsi untuk menahan beban lalu lintas pada pelat beton, namun berfungsi untuk mengendalikan retak agar tidak berlebihan.

- b. Perkerasan beton bertulang kontinyu (*Continuous Reinforced Concrete Pavement*, CRCP). CRCP merupakan perkerasan beton yang tulangan dan panjang pelatnya dibuat menerus tanpa sambungan. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Pd. T-14-2003) menyarankan panjang pelat dari CRCP lebih besar dari 75 m. Tulangan menerus berguna untuk menahan retak termal melintang agar retak tetap menutup dengan rapat dan sekaligus sebagai tambahan jaminan pada penguncian antar agregat di lokasi sambungan. Umumnya, perkerasan beton bertulang kontinyu mempunyai tulangan lebih banyak dan sambungan hanya dibutuhkan untuk keperluan pelaksanaan. Jarak tulangan dibuat lebih rapat, karena tulangan berfungsi untuk mendistribusikan retak agar seragam di sepanjang perkerasan dan untuk mencegah timbulnya retak yang terlalu lebar. Secara tipikal luas penampang tulangan yang dibutuhkan antara 0,40 – 1% dari luas penampang beton. Menurut Dellate (2008) retak pada CRCP biasanya terjadi pada jarak 0,6 – 2,0 m. CRCP membutuhkan angker pada ujung awal dan ujung akhir perkerasan yang berfungsi untuk menjaga pengerutan pelat akibat penyusutan.

C. Perkerasan Beton Ditutupi Aspal

Salah satu tipe perkerasan kaku yang lain adalah perkerasan beton semen Portland yang permukaannya ditutup dengan lapis aspal. Tebal lapis aspal secara tipikal 5 mm. Fungsi lapisan beton aspal ini adalah menjaga kerataan, keawetan permukaan beton sekaligus menjadi penutup masuknya air ke dalam lapis perkerasan, jika perkerasan beton mengalami retak-retak. Lapis permukaan aspal ini, dalam perancangan dianggap tidak berpengaruh pada kinerja struktur perkerasan.

2.8.2 Persyaratan Teknis

a. Tanah dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 03- 1731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2%, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5%.

Untuk menentukan modulus reaksi tanah dasar (k) secara yang mewakili suatu seksi jalan, dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$k^{\circ} = k - 2.S \text{ (untuk jalan tol) } \dots\dots\dots(2.28)$$

$$k^{\circ} = k - 1,64.S \text{ (untuk jalan arteri) } \dots\dots\dots(2.29)$$

$$k^{\circ} = k - 1,28.S \text{ (untuk jalan kolektor/lokal) } \dots\dots\dots(2.30)$$

b. Pondasi bawah

Tujuan digunakannya lapis pondasi bawah pada perkerasan kaku adalah untuk menambah daya dukung tanah dasar, menyediakan lantai kerja yang stabil dan mendapatkan permukaan dengan daya dukung yang seragam. Lapis pondasi bawah juga dapat mengurangi lendutan pada sambungan-sambungan sehingga menjamin penyaluran beban melalui sambungan muai dalam waktu lama, menjaga perubahan volume lapisan tanah dasar akibat pemuaian atau penyusutan serta mencegah keluarnya air atau pumping pada sambungan atau tepi-tepi pelat beton.

Adapun bahan-bahan pondasi bawah dapat berupa :

1. Bahan berbutir.

Material berbutir tanpa pengikat harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI-03-6388- 2000. Persyaratan dan gradasi pondasi bawah harus sesuai dengan kelas B. Sebelum pekerjaan dimulai, bahan

pondasi bawah harus diuji gradasinya dan harus memenuhi spesifikasi bahan untuk pondasi bawah, dengan penyimpangan ijin 3% - 5%.

Ketebalan minimum lapis pondasi bawah untuk tanah dasar dengan CBR minimum 5% adalah 15 cm. Derajat kepadatan lapis pondasi bawah minimum 100 %, sesuai dengan SNI 03-1743-1989.

2. Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*), dapat berupa :

- Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat yang sesuai dengan hasil perencanaan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Jenis bahan pengikat dapat meliputi semen, kapur, serta abu terbang dan/atau slag yang dihaluskan.
- Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*).
- Campuran beton kurus giling padat yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm²).

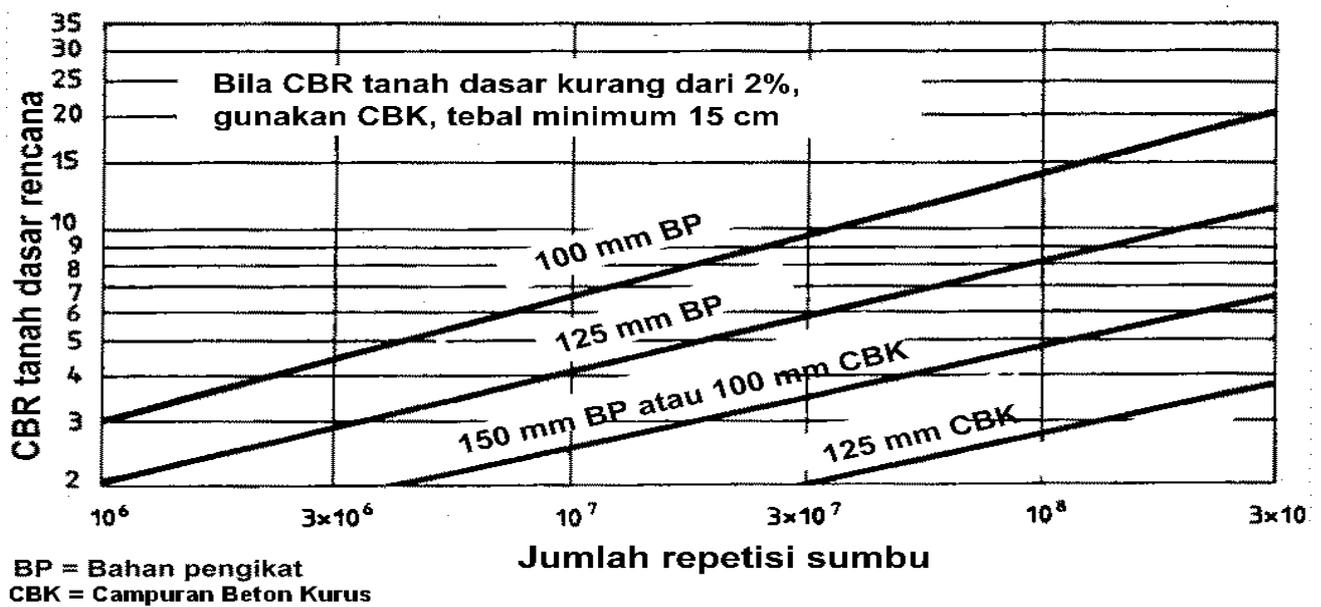
3. Campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*).

Campuran Beton Kurus (CBK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50 kg/cm²) tanpa menggunakan abu terbang, atau 7 MPa (70 kg/cm²) bila menggunakan abu terbang, dengan tebal minimum 10 cm.

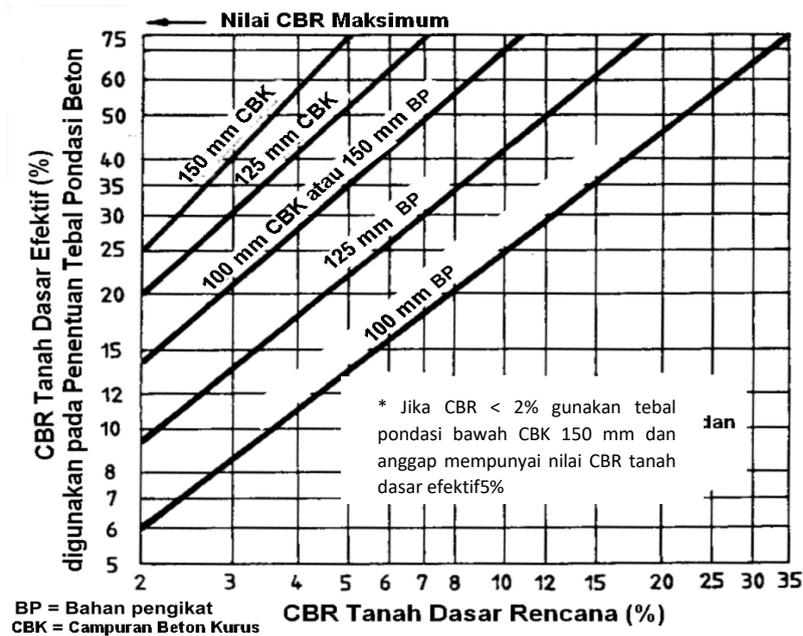
Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan pondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis pondasi dengan lebar sampai ke tepi luar lebar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif.

Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm yang paling sedikit mempunyai mutu sesuai dengan SNI No. 03-6388-2000 dan AASHTO M-155 serta SNI

03-1743-1989. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2.22 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 2.23.



Gambar 2.22 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Beton Semen
(Sumber : PD T-14-2003 : 8)



Gambar 2.23 CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah
(Sumber : PD T-14-2003 : 8)

c. Beton Semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30-50 kg/cm²).

Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50-55 kg/cm²). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) terdekat.

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut :

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \text{ dalam Mpa atau } \dots\dots\dots(2.31)$$

$$f_{cf} = 3,13K (f_c')^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.32)$$

Keterangan :

f_c' = kuat tekan beton karakteristik 28hari (kg/cm²)

f_{cf} = kuat tarik lentur beton 28 hari(kg/cm^2)

K = konstanta, 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat pecah.

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 03-2491-1991 sebagai berikut :

$$f_{cf} = 1,37.f_{cs}, \text{ dalam Mpa atau} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$f_{cf} = 13,44.f_{cs}, \text{ dalam } \text{kg}/\text{cm}^2 \dots\dots\dots(2.34)$$

Keterangan :

f_{cs} = Kuat tarik belah beton 28hari

d. Lalu-lintas

Penentuan beban lalu-lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu-lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu-lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir.

Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut :

- a. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- b. Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- c. Sumbu tandem roda ganda (STDRG).
- d. Sumbu tridem roda ganda (STRRG).

e. Lajur Rencana Koefisien Distribusi

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu-lintas kendaraan niaga terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 2.38

Tabel 2.38 Jumlah Lajur berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi (C) Kendaraan Niaga pada Lajur Rencana

Lebar Perkerasan (L_o)	Jumlah Lajur (n_1)	Koefisien Distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_o < 5,50$ m	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_o < 8,25$ m	2 lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} \leq L_o < 11,25$ m	3 lajur	0,50	0,475
$11,23 \text{ m} \leq L_o < 15,00$ m	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_o < 18,27$ m	5 lajur	-	0,425
$18,27 \text{ m} \leq L_o < 22,00$ m	6 lajur	-	0,40

(Sumber : PD T-14-2003 ; 10)

f. Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu-lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode *Benefit Cost Ratio*, *Internal Rate of Return*, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

g. Pertumbuhan Lalu Lintas

Volume lalu lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap dimana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu-lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+i)^n - 1}{e \log (1+i)} \dots \dots \dots (2.35)$$

Keterangan :

R = Faktor pertumbuhan lalulintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas pertahun dalam %.

UR = Umur rencana (tahun).

Tabel 2.39 Faktor Lajur Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-Rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor Rural	3,80	3,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017)

Faktor pertumbuhan lalu-lintas (R) dapat juga ditentukan berdasarkan Tabel 2. 40

Tabel 2.40 Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R)

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,1	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

(Sumber : (PD T-14-2003 ; 11)

h. Lalu Lintas Rencana

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10kN (1ton) bila diambil dari survei beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut :

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots(2.36)$$

Keterangan :

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.

JSKNH : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

R : Faktor pertumbuhan komulatif dari Rumus 2.35 atau Tabel 2.40, yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan

umur rencana.

C = Koefisien distribusikendaraan.

i. Faktor Keamanan Beban

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada Tabel 2.41.

Tabel 2.41 Faktor Keamanan beban (F_{KB})

No.	Penggunaan	Nilai F_{KB}
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu lintas dari hasil survei beban (<i>weight in motion</i>) dan adanya kemungkinan <i>route</i> alternatif, maka nilai faktor keaman beban dapat dikurangi menjadi 1,5.	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

(Sumber : (PD T-14-2003 ; 12)

2.8.3 Sambungan

Terdapat beberapa tipe sambungan pada perkerasan kaku. Kriteria perancangan sambungan pada perkerasan kaku tak bersambungan maupun bersambungan sama. Secara umum, tipe-tipe sambungan perkerasan beton dapat dibagi menjadi 4 tipe, antara lain :

- a. Sambungan pelaksanaan (*construction joint*).
- b. Sambungan muai (*expansion joint*).
- c. Sambungan susut (*contraction joint*).
- d. Sambungan lengkung (*warping joint*) atau sendi (*hinge*)

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk :

1. Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta bebanlalu-lintas.

2. Memudahkan pelaksanaan.
3. Mengakomodasi gerakan pelat.

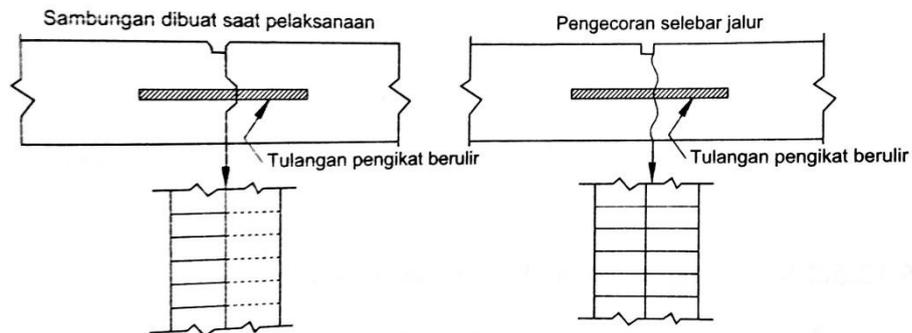
A. Sambungan Pelaksanaan (*Construction Joint*)

Sambungan pelaksanaan atau disebut pula sambungan kontak adalah sambungan yang terbentuk oleh :

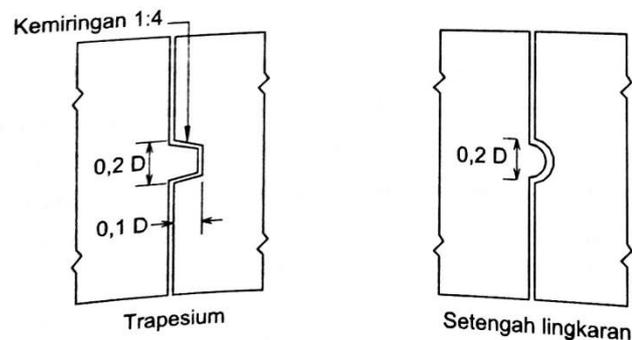
1. Pengecoran dalam waktu yang berbeda
2. Pengecoran terhenti oleh waktu operasi yang terbatas setiap harinya
3. Pengecoran terhenti lebih dari 30 menit, akibat kerusakan alat atau keterlambatan pengiriman adukan beton ke lokasi.

Sambungan pelaksanaan merupakan sambungan yang memisahkan bagian-bagian pelat beton yang dicor pada waktu yang berbeda. Jadi, sambungan ini merupakan pertemuan antara beton yang dicor lebih awal dan sesudahnya. Sambungan pelaksanaan dapat diletakkan pada arah melintang maupun memanjang yang letaknya sudah direncanakan sebelumnya. Tulangan pengikat (*tie bar*), umumnya dipasang di tengah sambungan kontak untuk menghubungkan pelat-pelat yang berdampingan.

Sambungan memanjang berguna untuk mengendalikan retak dalam arah memanjang akibat lengkungan (*warping*), tegangan ekspansi dan tegangan susut yang disebabkan oleh perubahan temperatur ketika beton dihamparkan pada area yang luas. Sambungan memanjang, umumnya mempunyai batas lajur yang berjarak 3,6 m. Bila tidak ada batas lajur, sambungan memanjang dipasang setiap jarak 3,3 m dan tidak lebih dari 4,2 m. Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilengkapi dengan pengunci dibagian tengahnya setinggi $0,2 D$ (D = tebal pelat beton), seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.24.



(a) Tipikal Sambungan Memanjang

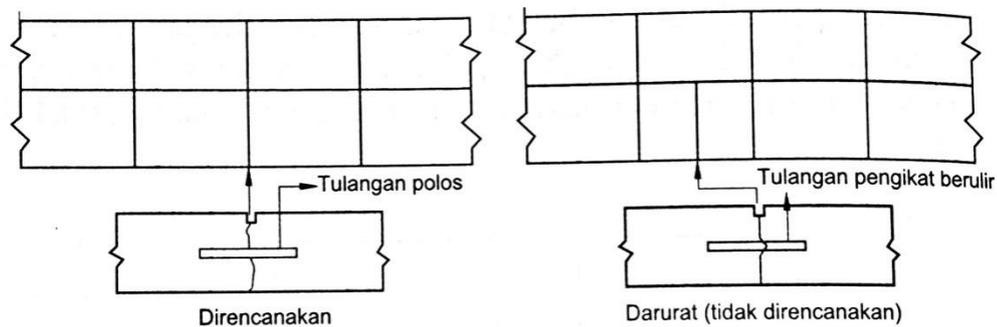


(b) Ukuran standar penguncian sambungan memanjang

Gambar 2.24 Sambungan Arah Memanjang

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

Sambungan pelaksanaan arah melintang yang tidak direncanakan atau darurat, harus dilengkapi dengan *tie bar* dari tulangan baja ulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan ditenga pelat beton (Gambar 2.33). *Tie bar* berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm untuk tebal $D < 17$ cm, sedangkan untuk tebal $D > 17$ cm, *tie bar* harus berdiameter 20 mm, panjang 84 cm dan jarak 60 cm (Hardiyatmo, 2015).



Gambar 2.25 Sambungan pelaksanaan direncanakan dan tidak direncanakan

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

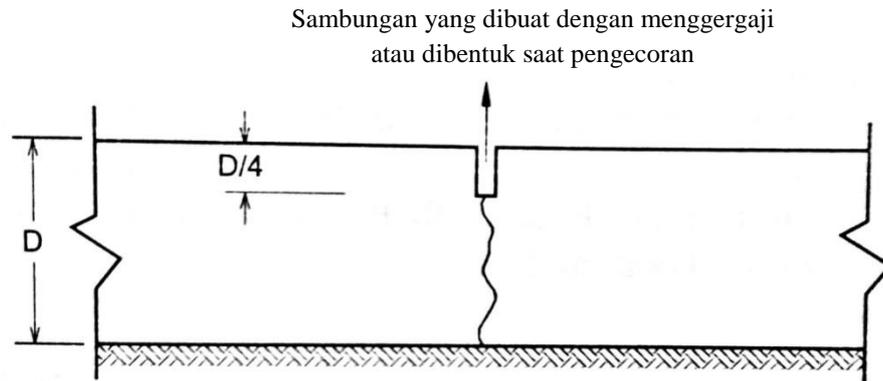
B. Sambungan Muai (*Expansion Joint*)

Sambungan muai atau sambungan ekspansi berfungsi untuk memberikan ruang pemuaian pelat beton yang cukup di antara pelat-pelat perkerasan guna mencegah adanya tegangan tekan berlebihan yang dapat mengakibatkan perkerasan beton tertekuk. Lebar celah sambungan 19 mm (3/4 in), walaupun dalam hal khusus lebar celah bisa mencapai 25 mm (1 in). Karena sambungan muai tidak menyediakan penguncian antar agregat, maka diperlukan alat penyalur beban yaitu *dowel*. Sambungan muai, biasanya merupakan celah tempat terjadinya *pumping*, bila sambungan tidak ditutup dengan baik. Sambungan muai tidak diperlukan pada perkerasan beton tak bertulangan (JPCP).

C. Sambungan Kontraksi (*Contraction Joint*)

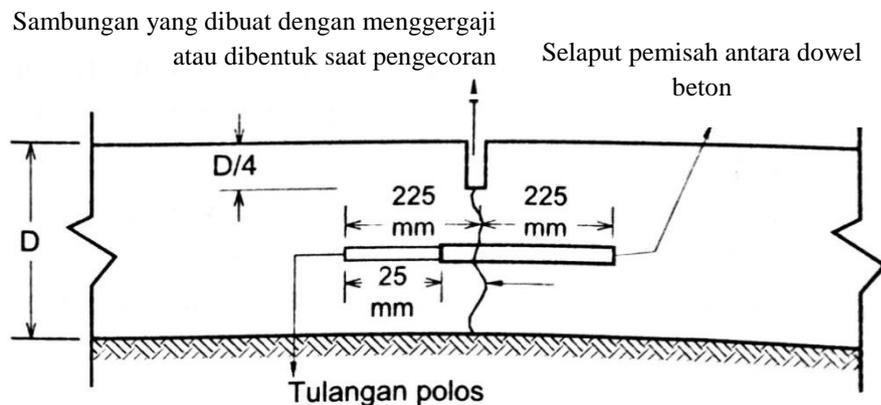
Sambungan kontraksi/sambungan susut berguna untuk mengendalikan retak susut beton. Susut terjadi akibat pengaruh perubahan suhu dan kelembaban. Sambungan susut hanya dimaksudkan untuk membebaskan tegangan tarik akibat susut dan melengkungnya beton.

Dummy groove contraction joint yaitu sambungan yang dibuat dengan mengeruk permukaan beton. Jika pelat beton mengalami retak akibat susut, maka retakan diharapkan terjadi pada bagian ini dan tidak menyebar secara tak beraturan.



Gambar 2.26 Sambungan Susut Melintang Tanpa *Dowel*

(Sumber : Hardiyatmo,2015)



Gambar 2.27 Sambungan Susut Melintang dengan *Dowel*

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

Kerukan dibuat dengan cara menggergaji pelat, atau dengan meletakkan batang /pelat *fiber* pada saat pengecoran dan kemudian mengambilnya ketika beton agak mengeras. Kedalam sambungan kontraksi yang disarankan AASHTO (1993), yaitu :

- Sambungan arah melintang jalan $\frac{1}{4}$ tebal pelat ($\frac{1}{4} D$).
- Sambungan arah memanjang $\frac{1}{3}$ tebal pelat ($\frac{1}{3} D$).

Rasio kedalaman terhadap lebar penutup (*sealant*) harus dalam, dengan kisaran 1-1,5 m dengan kedalaman minimum $\frac{3}{8}$ in untuk sambungan arah memanjang dan $\frac{1}{2}$ in untuk sambungan arah melintang.

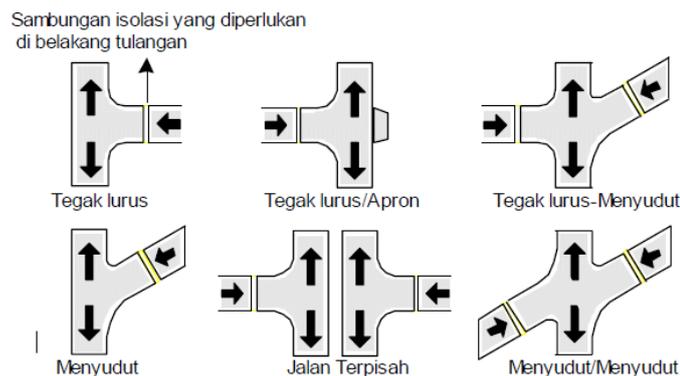
D. Sambungan Lengkung (*Waping Joint*) atau Sendi (*Hinge*)

Akibat perbedaan temperatur dan perubahan kelembaban, perkerasan beton di bagian tengah akan melengkung. Sambungan lengkung atau sendi digunakan dalam perkerasan beton untuk mengendalikan retak disepanjang sumbu dari perkerasan. Jenis sambungan yang digunakan tergantung pada pengecoran pelat beton. Jika lajur jalan yang baru di cor segera digunakan, maka sambungan tersebut perlu dilengkapi dengan kunci dan diberi *tie bar*. Sambungan lengkung ini, dalam praktek sama dengan sambungan pelaksanaan.

E. Sambungan Isolasi (*Isolation Joint*)

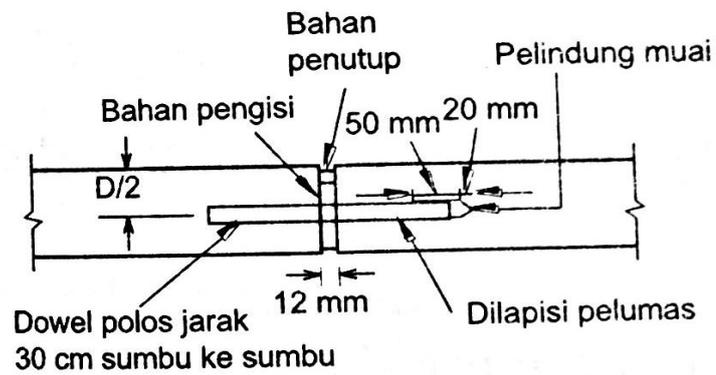
Sambungan isolasi adalah sambungan yang digunakan untuk memisahkan perkerasan dengan bangunan lain, seperti : jalan pendekat jembatan, *inlet* drainase, *manhole* dan lainnya (Gambar 2.36).

Sambungan isolasi berguna untuk mengurangi tegangan tekan yang dapat menyebabkan retak berlebihan pada pelat beton. Sambungan isolasi ini harus ditutup dengan penutup sambungan (*joint sealer*) setebal 5-7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*). Pengisi berguna untuk mencegah infiltrasi air atau masuknya kotoran ke dalam celah sambungan.



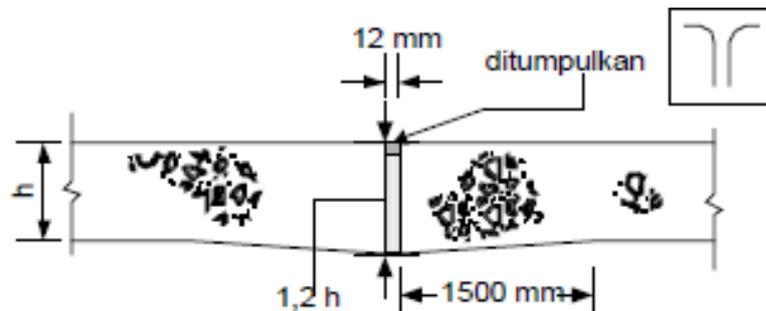
Gambar 2.28 Contoh Persimpangan yang membutuhkan Sambungan Isolasi

(Sumber : PD T-14-2003 ; 16)



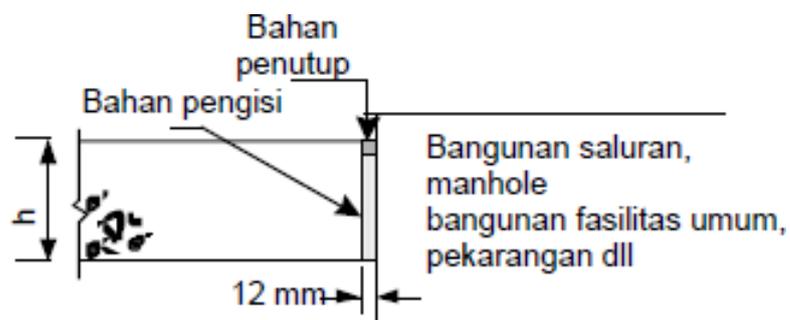
Gambar 2.29 Sambungan Isolasi dengan Dowel

(Sumber : PD T-14-2003 ; 16)



Gambar 2.30 Sambungan Isolasi dengan Penebalan Tepi

(Sumber : PD T-14-2003 ; 16)



Gambar 2.31 Sambungan Isolasi tanpa Dowel

(Sumber : PD T-14-2003 ; 17)

F. *Dowel*

Dowel adalah batang baja yang berfungsi sebagai alat penyalur beban antara dua pelat yang berdampingan. Alat penyalur beban untuk sambungan melintang harus mempunyai beberapa sifat, sebagai berikut (Hardiyatmo,2015) :

1. Sederhana dalam perancangan dan mudah dipasang.
2. Memberikan tahanan yang kecil, ketika terjadi gerakan ke arah memanjang dari sambungan pada sembarangwaktu.
3. Harus tahan korosi.
4. Harus stabil secara mekanis oleh akibat beban lalu lintas.

Batang ruji atau *dowel* dipasang pada jarak, diameter dan panjang tertentu. *Dowel* terbuat dari tulangan baja polos lurus, tak ada benjolan. Terdapat perbedaan mendasar antara batang *dowel* dan *tie bar*. *Dowel* merupakan alat penyalur bebansesungguhnya dimensinya harus cukup besar dan dipasang pada interval yang relatif pendek, untuk menyediaka tahanan terhadap lentur, geser dan dukungan pada pelat beto, sedangkan *tie bar* atau batang pengikat adalah batang tulangan baja ulir yang digunakan untuk menjaga agar ujung-ujung pelat beton yang berdampingan tetap dalam kontak yang baik antara satu dengan yang lainnya.

Dowel dipasang di tengah-tengah tebal pelat beton, dengan adanya *dowe* l maka pelat beton yang berdampingan dapat bekerja sama dengan tanpa terjadi beda penurunan signifikan bila dibebani dengan beban lalu lintas. Selain itu, *dowel* yang dipasang memotong tegak lurus sambungan melintang memberikan hubungan mekanikal antara pelat-pelat yang berdampingan dengan tanpa menghambat kebebasan pelat ke arah horisontal. Dalam hal khusus, *dowel* juga dipasang tegak lurus sambungan memanjang. AASHTO (1993) dan PCA (1991) merekomendasikan batang *dowel* berdiameter $1/8$ dari tebal pelat beton atau diameter $dowel = D/8$, panjang 46 cm (18 in) dan jarak 30 cm (12in).

Dowel pada sambungan melintang harus dipasang lurus dan sejajar dengan sumbu jalan. Pada setengah panjang *dowel*, permukaannya harus dicat dengan bahan pencegah karat dan diolesi dengan bahan anti lengket guna menjamin tidak adanya ikatan dengan beon di sekelilingnya. Pada ujung *dowel* harus dipasang topi pelindung muai agar batang *dowel* dapat bergerak bebas. Topi pelindung muai harus cukup kaku dan menutup *dowel* sepanjang 50-70 mm.

Tabel 2.42 Jarak, Panjang dan Diameter *Dowel*

Tebal perkerasan beton (D) (mm)	Diameter <i>dowel</i> (mm)
150-170	20
180-190	25
200-270	30
>280	40
Jarak <i>dowel</i> 300 mm	
Panjang <i>dowel</i> 450 mm	

(Sumber : Hardiyatmo, 2015 ; 336)

Tabel 2.43 Diameter *dowel*

Tebal pelat beton (D) (mm)	Diameter <i>dowel</i> (mm)
$125 < D \leq 140$	20
$140 < D \leq 160$	24
$160 < D \leq 190$	28
$190 < D \leq 220$	33
$220 < D \leq 250$	36
Jarak <i>dowel</i> 300 mm	
Panjang <i>dowel</i> 450 mm	
Mutu baja <i>grade</i> 250 R	

(Sumber : Hardiyatmo, 2015 ; 336)

Tabel 2.44 Diameter dan Jarak *dowel*

Tebal pelat beton (D)		Diameter <i>dowel</i>	
in	mm	in	mm
6	150	¼	19
7	175	1	25
8	200	1	25
9	225	1 ¼	32
10	250	1 ¼	32
11	275	1 ¼	32
12	300	1 ½	38
13	325	1 ½	38
14	350	1 ½	38

Jarak *dowel* 300 mm
Panjang *dowel* 450 mm

(Sumber : Hardiyatmo, 2015 ; 337)

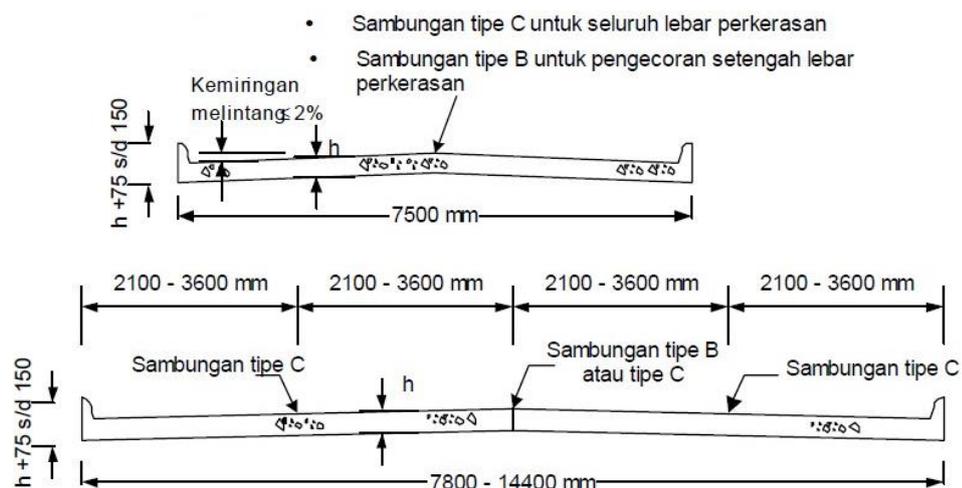
2.8.4 Pola Sambungan

Pola sambungan pada perkerasan beton semen harus mengikuti batasan-batasan sebagai berikut :

- Hindari bentuk panel yang tidak teratur. Usahakan bentuk panel persegi mungkin. Perbandingan maksimum panjang panel terhadap lebar adalah 1,25.
- Jarak maksimum sambungan memanjang 3 - 4 meter.
- Jarak maksimum sambungan melintang 25 kali tebal pelat, maksimum 5,0 meter.
- Semua sambungan susut harus menerus sampai kerb dan mempunyai kedalaman seperempat dan sepertiga dari tebal perkerasan masing-masing untuk lapis pondasi berbutir dan lapis stabilisasi semen.
- Antar sambungan harus bertemu pada satu titik untuk menghindari terjadinya retak refleksi pada lajur yang bersebelahan.
- Sudut antar sambungan yang lebih kecil dari 60 derajat harus dihindari dengan mengatur 0,5 m panjang terakhir dibuat tegak lurus terhadap tepi

perkerasan.

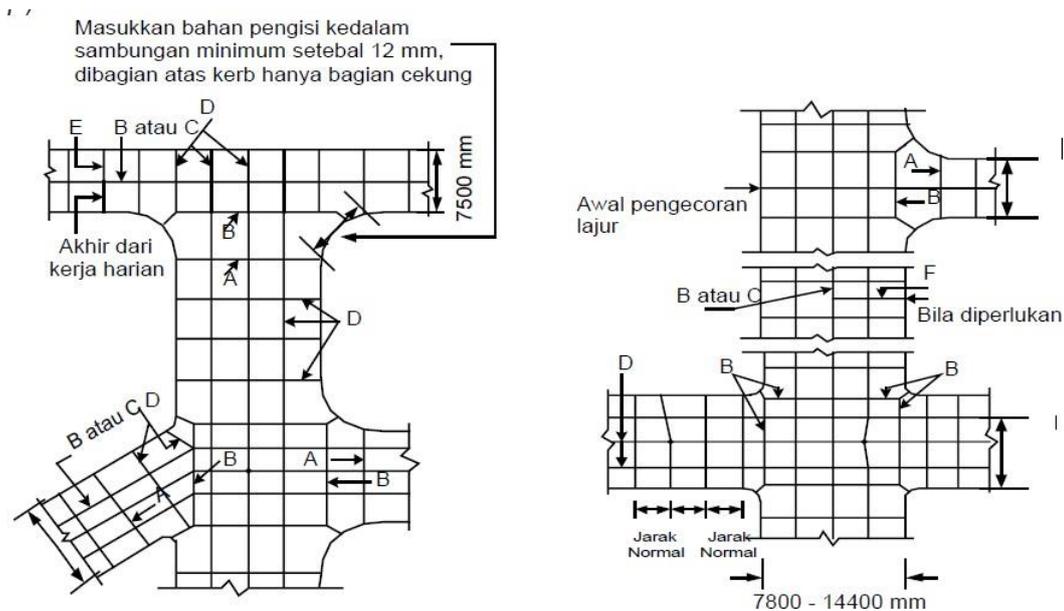
- Apabila sambungan berada dalam area 1,5 meter dengan *manhole* atau bangunan yang lain, jarak sambungan harus diatur sedemikian rupa sehingga antara sambungan dengan *manhole* atau bangunan yang lain tersebut membentuk sudut tegak lurus. Hal tersebut berlaku untuk bangunan yang berbentuk bundar. Untuk bangunan berbentuk segi empat, sambungan harus berada pada sudutnya atau di antara du sudut.
- Semua bangunan lain seperti *manhole* harus dipisahkan dari perkerasan dengan sambungan muai selebar 12 mm yang meliputi keseluruhan tebal pelat.
- Perkerasan yang berdekatan dengan bangunan lain atau *manhole* harus ditebalkan 20% dari ketebalan normal dan berangsur-angsur berkurang sampai ketebalan normal sepanjang 1,5 meter seperti diperlihatkan pada Gambar 2.32
- Panel yang tidak persegi empat dan yang mengelilingi *manhole* harus diberi tulangan berbentuk anyaman sebesar 0,15 % terhadap penampang beton semen dan dipasang 5 cm dibawah permukaan atas. Tulangan harus dihentikan 7,5 cm dari sambungan.



Gambar 2.32 Potongan Melintang dan Lokasi Sambungan

2.8.5 Penutup Sambungan

Penutup sambungan dimaksudkan untuk mencegah masuknya air dan atau benda lain ke dalam sambungan perkerasan. Benda-benda lain yang masuk ke dalam sambungan dapat menyebabkan kerusakan berupa gompal dan atau pelat beton yang saling menekan keatas (*blow up*).



Gambar 2.33 Detail Potongan Melintang Sambungan Perkerasan

(Sumber : PD T-14-2003 ;)

Keterangan Gambar 2.33 :

A = Sambungan isolasi

B = Sambungan pelaksanaan memanjang

C = Sambungan susut memanjang

D = Sambungan susut melintang

E = Sambungan susut melintang yang direncanakan

F = Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan

2.8.6 Prosedur Perencanaan

Prosedur perencanaan perkerasan beton semen didasarkan atas dua model kerusakan yaitu :

- a. Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat.
- b. Erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan dan tempat retak yang direncanakan.

Prosedur ini mempertimbangkan ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji.

Data lalu-lintas yang diperlukan adalah jenis sumbu dan distribusi beban serta jumlah repetisi masing-masing jenis sumbu/kombinasi beban yang diperkirakan selama umur rencana.

A. Perencanaan Tebal Plat

Tebal pelat taksiran dipilih dan total fatik serta kerusakan erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu-lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi lebih dari 100%, tebal taksiran dinaikan dan proses perencanaan diulangi.

Tebal rencana adalah tebal taksiran yang paling kecil yang mempunyai total fatik dan atau total kerusakan erosi lebih kecil atau sama dengan 100%.

B. Perencanaan Tulangan

Tujuan utama penulangan untuk :

- Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan
- Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang agar dapat mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan
- Mengurangi biaya pemeliharaan

Jumlah tulangan yang diperlukan dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan dalam hal beton bertulang menerus, diperlukan jumlah

tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut.

1. Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Bagian-bagian pelat yang diperkirakan akan mengalami retak akibat konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan pengaturan pola sambungan, maka pelat harus diberitulangan. Penerapan tulangan umumnya dilaksanakan pada:

a. Pelat dengan bentuk tak lazim (*odd-shaped slabs*),

Pelat disebut tidak lazim bila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih besar dari 1,25 atau bila pola sambungan pada pelat tidak benar-benar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang.

b. Pelat dengan sambungan tidak sejalur (*mismatched joints*).

c. Pelat berlubang (*pits or structures*).

2. Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan

Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$A_s = \frac{\mu.L.M.g.h}{2.F_s} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dengan pengertian:

A_s : Luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat)

f_s : Kuat-tarik ijin tulangan(MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh.

g : Gravitasi (m/detik^2).

h : Tebal pelat beton(m)

L : Jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat(m)

M : Berat per satuan volume pelat (kg/m^3)

μ : Koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah sebagaimana pada Tabel 2.45

Tabel 2.45 Nilai Koefisien Gesekan (μ)

No.	Lapis pemecah ikatan	Koefisien gesekan (μ)
1	Lapis resap ikat aspal di atas permukaan pondasi bawah	1,0
2	Laburan parafin tipis pemecah ikat	1,5
3	Karet kompon (<i>A chlorinated rubber curing compound</i>)	2,0

(Sumber : PD T-14-2003,2003)

3. Perkerasan Beton Menerus Dengan Tulangan

a. Penulangan Memanjang

Tulangan memanjang yang dibutuhkan pada perkerasan beton semen bertulang menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut :

$$P_s = \frac{100 \cdot f_{ct} \cdot (1,3 - 0,2\mu)}{f_y - n f_{ct}} \dots \dots \dots (2.38)$$

Keterangan :

P_s : Persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)

f_{ct} : Kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{ct})$ (kg/cm²)

f_y : Tegangan leleh rencana baja (kg/cm²)

n : Angka ekuivalensi antara baja dan beton (E_s/E_c), dapat dilihat pada Tabel 2.41 atau dihitung dengan rumus

μ : Koefisien gesek antara pelat beton dengan lapisan dibawahnya

E_s : Modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

E_c : Modulus elastisitas beton = $1485 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

Tabel 2.46 Nilai Kefisien Gesek (μ)

Type material dibawah slab	Koefisien gesek (μ)
Burtu, Lapen & konstruksi sejenis	2,2
Aspal beton, laston	1,8
Stabilitas kapur	1,8
Stabilitas aspal	1,8
Stabilitas semen	1,8
Koral sungai	1,8
Batu pecah	1,5

Lanjutan Tabel 2.46

Type material dibawah slab	Koefisien gesek (μ)
Sirtu	1,2
Tanah	0,9

(Sumber : Perencanaan Jalan Raya 2, 2003)

Tabel 2.47 Hubungan Kuat Tekan Beton dan Angka Ekuivalen Baja dan Beton (n)

f'_c (kg/cm ²)	N
175 – 225	10
235 – 285	8
290 - ke atas	6

(Sumber : PD T-14-2003, 2003 ; 30)

Persentase minimum dari tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% luas penampang beton. Jumlah optimum tulangan memanjang, perlu dipasang agar jarak dan lebar retakan dapat dikendalikan. Secara teoritis jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut :

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n.p^2.u.f_b(\epsilon_s E_c - f_{ct})} \dots\dots\dots(2.39)$$

Keterangan :

- L_{cr} : Jarak teoritis antara retakan (cm).
- p : Perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton.
- u : Perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$.
- f_b : Tegangan lekat antara tulangan dengan beton
($1,97\sqrt{f'_c}$)/d.(kg/cm²)
- ϵ_s : Koefisien susut beton = $(400 \cdot 10^{-6})$.
- f_{ct} : Kuat tarik langsung beton = $(0,4-0,5f_{ct})$ (kg/cm²)
- n : Angka ekuivalensi antara baja dan beton = (E_s/E_c) .
- E_c : Modulus Elastisitas beton = $14850\sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)
- E_s : Modulus Elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

Untuk menjamin agar didapat retakan-retakan yang halus dan jarak antara retakan yang optimum, maka :

- Persentase tulangan dan perbandingan antara keliling dan luas tulangan harus besar
- Perlu menggunakan tulangan ulir (*deformed bars*) untuk memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi.

Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 150 dan 250 cm. Jarak antar tulangan 100 mm - 225 mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm dan 20 mm.

b. Penulangan Melintang

Luas tulangan melintang (A_s) yang diperlukan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung menggunakan persamaan (2.35).

Tulangan melintang direkomendasikan sebagai berikut (Perencanaan Perkerasan Beton Semen Dep PU, 2003) :

- a. Diameter batang ulir tidak lebih kecil dari 12mm.
- b. Jarak maksimum tulangan dari sumbu-ke-sumbu 75cm.

2.9 Bangunan Pelengkap

Menurut PERMEN PU No.19 Tahun 2011 bangunan jalan berfungsi sebagai :

- a. Jalur lalu lintas
- b. Pendukung konstruksi jalan
- c. Fasilitas lalu lintas dan fasilitas pendukung pengguna jalan

Maka dari itu untuk memenuhi persyaratan kelancaran lalu lintas dan menghindari kerusakan akibat air yang berdampak pada kenyamanan pemakai jalan, diperlukan adanya bangunan pelengkap jalan.

2.9.1 Drainase

Drainase adalah prasarana yang berfungsi mengalirkan air permukaan ke badan air atau ke bangunan resapan buatan sedangkan drainase jalan adalah prasarana yang dapat bersifat alami ataupun buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan maupun bawah tanah, biasanya menggunakan bantuan gaya gravitasi, yang terdiri atas saluran samping dan gorong-gorong ke badan air penerima atau tempat peresapan buatan, seperti: sumur resapan air hujan atau kolam darainase tampungan sementara. Ada dua jenis drainase, antara lain (Pd.T-02-2006-B) :

1. Drainase permukaan

Drainase permukaan berfungsi mengalirkan air hujan yang ada dipermukaan agar tidak menghambat arus lalu lintas di jalan tersebut dan juga mencegah air agar tidak merusak lapisan perkerasan jalan.

2. Drainase bawah permukaan

Drainase bawah permukaan berfungsi untuk mengalirkan air yang berada di bawah permukaan dari suatu tempat ke tempat lain dengan tujuan melindungi bangunan yang berda di atasnya.

2.9.2 Desain Saluran Samping

Langkah perencanaannya adalah sebagai berikut :

a. Menentukan frekuensi hujan rencana pada masa ulang T (tahun).

Untuk menentukan frekuensi curah hujan digunakan cara atau metode Gumbel. Cara ini digunakan apabila data curah hujan tersedia dengan lengkap, sehingga diperoleh perhitungan hujan rata-rata sesuai dengan jumlah tahun pengamatan. Untuk perhitungan cara Gumbel digunakan rumus sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{n} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(2.42)$$

$$R_t = R + (K \cdot S_x) \dots\dots\dots (2.43)$$

Keterangan :

\bar{R} : Curah hujan harian rata-rata

S_x : Standar Deviasi

R_t : Hujan rencana untuk periode ulang T tahun

Y_t : Faktor reduksi (tabel 2.48)

Y_n : Angka reduksi rata-rata (tabel 2.49)

S_n : Angka reduksi standar deviasi (tabel 2.50)

K : Faktor frekuensi (nilai K dapat dilihat pada tabel 2.48)

Tabel 2.48 Faktor Frekuensi (K)

T	Yt	Lama Pengamatan (tahun)				
		10	15	20	25	30
2	0,3665	-0,1355	-0,1434	-0,1478	-0,1506	-0,1526
5	1,1499	1,0580	0,9672	0,9186	0,8878	0,8663
10	2,2502	1,8482	1,7023	1,6246	1,5752	1,5408
20	2,9702	2,6064	2,4078	2,3020	2,2348	2,1881
25	3,1985	2,8468	2,6315	2,5168	2,4440	2,3933
50	3,9019	3,5875	3,3207	3,1787	3,0884	3,0256
100	4,6001	4,3228	4,0048	3,8356	3,7281	3,6533

(Sumber : Hendarsin, 2000)

Tabel 2.49 Angka reduksi rata-rata (Yn)

n	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,4952	0,5236	0,5362	0,5436	0,5485	0,5521	0,5548	0,5569	0,5586	0,56
1	0,4996	0,5252	0,5371	0,5442	0,5489	0,5524	0,555	0,557	0,5587	
2	0,5035	0,5268	0,538	0,5448	0,5493	0,5527	0,5552	0,5572	0,5589	
3	0,507	0,5283	0,5388	0,5453	0,5497	0,553	0,5555	0,5574	0,5591	
4	0,51	0,5296	0,5396	0,5458	0,5501	0,5533	0,5557	0,5576	0,5592	
5	0,5128	0,5309	0,5402	0,5463	0,5504	0,5535	0,5559	0,5578	0,5593	

Lanjutan Tabel 2.49

n	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
6	0,5157	0,532	0,541	0,5468	0,5508	0,5538	0,5561	0,558	0,5595	
7	0,5181	0,5332	0,5418	0,5473	0,5511	0,5540	0,5563	0,5581	0,5596	
8	0,5202	0,5343	0,5424	0,5477	0,5515	0,5543	0,5565	0,5583	0,5598	
9	0,5220	0,5353	0,5430	0,5481	0,5518	0,5545	0,5567	0,5585	0,5599	

(Sumber : Hendarsin, 2000)

Tabel 2.50 Angka reduksi Standar Deviasi (Sn)

n	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,9496	1,0628	1,1124	1,1413	1,1607	1,1747	1,1854	1,1938	1,2007	1,2065
1	0,9676	1,0696	1,1159	1,1436	1,1623	1,1759	1,1863	1,1945	1,2013	
2	0,9833	1,0754	1,1193	1,1458	1,1638	1,177	1,1873	1,1953	1,2020	
3	0,9971	1,0811	1,1226	1,1480	1,1658	1,1782	1,1881	1,1959	1,2026	
4	1,0095	1,0864	1,1255	1,1499	1,1667	1,1793	1,1890	1,1967	1,2032	
5	1,0206	1,0915	1,1285	1,1519	1,1681	1,1803	1,1898	1,1973	1,2038	
6	1,0316	1,0961	1,1313	1,1538	1,1696	1,1814	1,1906	1,1980	1,2044	
7	1,0411	1,1004	1,1339	1,1557	1,1708	1,1824	1,1915	1,1987	1,2049	
8	1,0493	1,1047	1,1363	1,1574	1,1721	1,1834	1,1923	1,1994	1,2055	
9	1,0565	1,1086	1,1388	1,1590	1,1734	1,1844	1,1930	1,2001	1,2060	

(Sumber : Hendarsin, 2000)

b. Waktu Konsentrasi (T_c)

Waktu Konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh pada titik terjauh dalam suatu *catchment area* untuk menuju ke titik *outlet*. Waktu konsentrasi terbagi atas dua, yaitu (t₀ atau t₁) adalah waktu untuk mencapai awal saluran (*inlet*) dan (t_d atau t₂) waktu pengaliran dalam saluran. Rumus yang digunakan yaitu :

$$t_0 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L_0 \times \frac{nd}{\sqrt{s}} \right)^{0,167} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$t_d = \frac{L}{60.V} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$T_c = t_0 + t_d \dots\dots\dots(2.46)$$

Keterangan :

L₀ : Jarak dari titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L : Panjang saluran (m)

nd : Koefisien hambatan

S : Kemiringan daerah pengaliran/kemiringan tanah

V : Kecepatan rata-rata aliran dalam saluran (m/dt)

Catatan : Nilai kemiringan saluran (S) disesuaikan dengan kelandaian jalan dengan nilai minimal = 0,5% . Untuk nilai nd diambil dari tabel 2.45 dan nilai V diambil dari tabel 2.52

Tabel 2.51 Nilai Koefisien Hambatan (nd)

Kondisi Permukaan	nd
Lapisan semen dan aspal beton	0,013
Permukaan licin dan kedap air	0,020
Permukaan licin dan kokoh	0,1
Tanah dengan rumput tipis & gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,2
Padang rumput	0,4
Hutan gundul	0,6
Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai padat	0,8

(Sumber : Hendarsin, 2000)

Tabel 2.52 Kecepatan Aliran Izin (V)

No	Jenis Material	V _{izin} (m/dt)
1.	Pasir	0,45
2.	Lempung Kepasiran	0,50
3.	Lanau Alluvial	0,60
4.	Kerikil Halus	0,75
5.	Lempung Kokoh	0,75
6.	Lempung Padat	1,10
7.	Kerikil Kasar	1,20
8.	Batu-batu Besar	1,50
9.	Pasangan Batu	1,50
10.	Beton	1,50
11.	Beton Bertulang	1,50

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase Jalan Dep PU, 2006)

c. Intensitas hujan selama waktukosentrasi

Curah hujan dalam jangka waktu pendek dinyatakan dalam intensitas, yaitu tinggi air per satuan waktu (mm/jam, mm/menit).

$$It = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{Tc}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(2.47)$$

Keterangan :

It : Intensitas hujan (mm/jam)

R₂₄ : Curah hujan harian maksimum (mm)

Tc : Waktu konsentrasi (jam)

d. Luas daerah pengaliran

Luas daerah tangkapan hujan (*catchmen area*) pada perencanaan saluran samping jalan dan *culvert* adalah daerah pengaliran (*drainage area*) yang menerima curah hujan selama waktu tertentu (intensitas hujan), sehingga menimbulkan debit limpasan yang harus ditampung oleh saluran samping untuk dialirkan ke *culvert* atau ke sungai.

e. Koefisien pengaliran

Koefisien pengaliran atau koefisien limpasan (C), adalah angka reduksi dari intensitas hujan, yang besarnya disesuaikan dengan kondisi permukaan, kemiringan atau kelandaian, jenis tanah dan durasi hujan. Apabila koefisien pengaliran terdiri lebih dari satu jenis kondisi permukaan pengaliran, maka rumusnya adalah sebagai berikut :

$$C_w = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots}{A_1 + A_2 + \dots} \dots\dots\dots(2.48)$$

Keterangan :

C₁, C₂ : Koefisien pengaliran sesuai jenis permukaan

A₁, A₂ : Luas daerah pengaliran (Km²)

C_w : C rata-rata pada daerah pengaliran

f. Debit Limpasan

Debit limpasan adalah jumlah pengaliran limpasan yang masuk kedalam saluran samping.

$$Q_r = \frac{C \cdot It \cdot A}{3,6} \dots\dots\dots(2.49)$$

Keterangan :

Q : Debit limpasan (m³/detik)

- C : Koefisien pengaliran (tabel 2.53)
 It : Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
 A : Luas daerah pengaliran/tangkapan (Km²)

Tabel 2.53 Koefisien Pengaliran

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
BAHAN		
1.	Jalan beton dan aspal	0,70 - 0,95
2.	Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40 - 0,70
3.	Bahu jalan :	
	a. Tanah berbutir halus	0,40 - 0,65
	b. Tanah berbutir kasar	0,10 - 0,20
	c. Bantuan masif keras	0,70 - 0,85
	d. Batuan masif lunak	0,60 - 0,75
TATA GUNA LAHAN		
1.	Daerah perkotaan	0,70 - 0,95
2.	Daerah pinggir kota	0,60 - 0,70
TATA GUNA LAHAN		Koefisien Pengaliran (C)
3.	Daerah industri	0,60 - 0,90
4.	Pemukiman padat	0,60 - 0,80
5.	Pemukiman tidak padat	0,40 - 0,60
6.	Taman dan kebun	0,20 - 0,40
7.	Persawahan	0,45 - 0,60
8.	Perbukitan	0,70 - 0,80
9.	Pegunungan	0,75 - 0,90

(Sumber : Perencanaan sistem drainase jalan Dep PU, 2006)

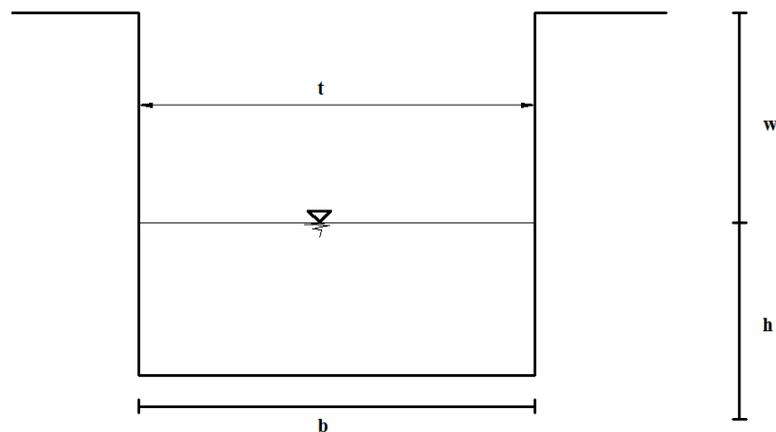
e. Perencanaan dimensi saluran samping

Bentuk penampang saluran samping yang akan didesain adalah bentuk trapesium dengan kemiringan talud.

Tabel 2.54 Kemiringan Talud berdasarkan Debit

No	Debit Air (m ³ /dtk)	Kemiringan (1:z)
1.	0,00 – 0,75	1:1
2.	0,75 – 15	1:1,5
3.	15 – 80	1:2

(Sumber : Perencanaan Sistem Drainase Dep PU, 2006)



Gambar 2.34 Penampang Saluran Persegi

Langkah perhitungannya, sebagai berikut :

1. Menentukan penampang basah

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(2.50)$$

$$Ad = Q / A \dots\dots\dots(2.51)$$

Keterangan :

Q = Debit limpasan (m³/dtk)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

Ad = Luas penampang desain

2. Penampang ekonomis

- Untuk penampang ekonomis saluran persegi

$$Ae = 2h^2 \dots\dots\dots(2.52)$$

- Dari persamaan diatas, apabila nilai Ae telah ditentukan maka dapat digunakan untuk menentukan kedalaman saluran drainase (h)

$$h = \sqrt{A/2} \dots \dots \dots (2.53)$$

Persamaan 2.53 nantinya digunakan untuk menentukan lebar dasar saluran drainase (b).

$$b = 2 h \dots \dots \dots (2.54)$$

3. Tinggi jagaan (W)

$$W = \sqrt{0,5 x y} \dots \dots \dots (2.55)$$

4. Keliling basah (p)

$$P = b + 2y\sqrt{z^2 + 1} \dots \dots \dots (2.56)$$

5. Radius hidrolis (R)

$$R = A / P \dots \dots \dots (2.57)$$

6. Kemiringan dasar saluran (I)

$$I = \left[\frac{V}{\frac{1}{n} x R^{2/3}} \right] \dots \dots \dots (2.58)$$

“n” adalah angka kekerasan Meaning, nilainya terdapat pada tabel 2.55

Tabel 2.55 Koefisien Kekerasan Meaning

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
SALURAN BUATAN					
1	Saluran tanah harus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3	Saluran pada dinding batu, lurus, teratur	0,020	0,030	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,45	0,045

Lanjutan Tabel 2.55

No	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
5	Saluran buatan yang diledakkan, ada tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,035	0,035
7	Saluran lengkung, dnegan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
SALURAN ALAM					
8	Bersih, lurus, tidak berpasir dan tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9	Seperti no.8 namun ada timbunan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir	0,033	0,035	0,040	0,045
11	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13	Seperti no.11, sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14	Aliran pelan, banyak tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
SALURAN BUATAN, BETON / BATU KALI					
16	Saluran pasangan batu tanpa penyelesaian	0,025	0,030	0,033	0,035
17	Seperti no.16 tapi dengan penyelesaian	0,017	0,020	0,025	0,030
18	Saluran buatan	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pra cetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pra cetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

(Sumber : Perencanaan sistem drainase jalan Dep PU, 2006 ; 20)

2.9.3 Gorong – Gorong

Fungsi gorong-gorong adalah mengalirkan air dari sisi jalan ke sisi lainnya. Untuk itu desainnya harus juga mempertimbangkan faktor hidrolis dan struktur supaya gorong-gorong dapat berfungsi mengalirkan air dan mempunyai daya dukung terhadap beban lalu lintas dan timbunantanah.

Mengingat fungsinya maka gorong-gorong disarankan dibuat dengan tipe konstruksi yang permanen (pipa/kotak beton, pasangan batu,) dan desain umur rencana 10 tahun. Bagian utama gorong-gorong terdiri dari :

- a. Pipa : Kanal air utama

- b. Tembok Kepala
 - Tembok yang menopang ujung dan lerengjalan.
 - Tembok penahan yang dipasang bersudut dengan tembok kepala, untuk menahan bahu dan kemiringan jalan.
- c. Apron (dasar)

Lantai dasar dibuat pada tempat masuk untuk mencegah terjadinya erosi dan dapat berfungsi sebagai dinding penyekat lumpur. Bentuk gorong-gorong umumnya tergantung pada tempat yang ada dan tingginya timbunan.

Dalam perencanaan jalan, penempatan dan penentuan jumlah gorong-gorong harus diperhatikan terhadap fungsi dan medan setempat. Agar dapat berfungsi dengan baik, maka gorong-gorong ditempatkan pada :

1. Lokasi jalan yang memotong aliran air.
2. Daerah cekung, tempat air menggenang.
3. Tempat kemiringan jalan yang tajam tempat air yang dapat merusak lereng dan badan jalan.
4. Kedalaman gorong-gorong yang aman terhadap permukaan jalan minimum 60 cm.

2.10 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek (Ibrahim, 2001). Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

Dalam menyusun anggaran biaya dapat dilakukan dengan 2 cara sebagai berikut :

- 1) Anggaran biaya kasar (taksiran), sebagai pedoman dalam menyusun anggaran biaya kasar digunakan harga satuan tiap meter persegi (m^2)

luas lantai. Anggaran biaya kasar dipakai sebagai pedoman terhadap anggaran biaya yang dihitung secara teliti.

- 2) Anggaran biaya teliti, ialah anggaran biaya bangunan atau proyek yang dihitung dengan teliti dan cermat, sesuai dengan ketentuan dan syarat-syarat penyusunan anggaran biaya. Pada anggaran biaya kasar sebagaimana diuraikan terdahulu, harga satuan dihitung berdasarkan harga taksiran setiap luas lantai m^2 . Taksiran tersebut haruslah berdasarkan harga yang wajar, dan tidak terlalu jauh berbeda dengan harga yang dihitung secara teliti.

Sedangkan penyusunan anggaran biaya yang dihitung dengan teliti, didasarkan atau didukung oleh :

- 1) Bestek, untuk menentukan spesifikasi bahan dan syarat-syarat
- 2) Gambar Bestek, untuk menentukan/menghitung besarnya masing-masing volume pekerjaan.
- 3) Harga Satuan Pekerjaan, didapat dari harga satuan bahan dan harga satuan upah berdasarkan perhitungan analisa.

2.10.1 Daftar harga satuan bahan dan upah

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga, tempat proyek ini berada karena tidak setiap daerah memiliki standar yang sama. Penggunaan daftar upah ini juga merupakan pedoman untuk menghitung rancangan anggaran biaya pekerjaan dan upah yang dipakai kontraktor. Adapun harga satuan bahan dan upah adalah satuan harga yang termasuk pajak-pajak.

2.10.2 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Yang dimaksud dengan harga satuan pekerjaan ialah jumlah harga bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan perhitungan analisis (Ibrahim, 2001). Guna dari satuan harga ini agar kita dapat mengetahui harga-harga satuan dari tiap-tiap pekerjaan yang ada. Dari harga-harga yang terdapat didalam analisa satuan

harga ini nantinya akan didapat harga keseluruhan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya. Adapun yang termasuk didalam analisa satuan harga ini adalah:

a. Analisa harga satuan pekerjaan

Analisa harga satuan pekerjaan adalah perhitungan-perhitungan biaya pada setiap pekerjaan yang ada pada suatu proyek. Dalam menghitung analisa satuan pekerjaan, sangatlah erat hubungan dengan daftar harga satuan bahan dan upah.

b. Analisa satuan alat berat

Perhitungan analisa satuan alat berat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu:

1. Pendekatan *on the job*, yaitu pendekatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan produksi berdasarkan data yang diperoleh dari data hasil lapangan dan data ini biasanya didapat dari pengamatan observasi lapangan.
2. Pendekatan *off the job*, yaitu pendekatan yang dipakai untuk memperoleh hasil perhitungan berdasarkan standar yang biasanya ditetapkan oleh pabrik pembuat.

2.10.3 Perhitungan Volume Pekerjaan

Volume suatu pekerjaan ialah menghitung jumlah banyaknya volume pekerjaan dalam satu satuan (Ibrahim, 2001). Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyak suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga satuan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada di dalam suatu proyek.

2.10.4 Rekapitulasi biaya

Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya.

2.11 Manajemen Proyek

Kemajuan dalam kegiatan industry pada beberapa aspek memerlukan manajemen atau pengelolaan yang dituntut memiliki kinerja, kecermatan, keekonomisan, keterpaduan, kecepatan, ketetapan, ketelitian serta keamanan yang tinggi dalam rangka memperoleh hasil akhir yang sesuai harapan. Pengelolaan suatu kegiatan dengan investasi berskala besar dan tingkat kompleksitas yang sangat sulit membutuhkan cara teknis/metode yang teruji, sumber daya yang berkualitas, serta penerapan ilmu pengetahuan yang tepat dan *up to date*.

Manajemen sebagai ilmu mengelola suatu kegiatan yang skalanya dapat berskala kecil atau bahkan sangat besar, mempunyai ukuran tersendiri terhadap hasil akhir. Dengan menrapkan prinsip-prinsip dasar manajemen yang sama oleh individu atau organisasi yang berbeda, hasil akhir proses manajemen dapat berbeda satu sama lain. Ini karena ada perbedaan-perbedaan budaya, pengalaman, lingkungan, kondisi social, tingkat ekonomi, karakter sumber daya manusia serta kemampuan untuk menguasai prinsip-prinsip dasar manajemen.

Untuk memberikan gambaran tentang manajemen, selanjutnya diuraikan ruang lingkup manajemen, seperti definisi dan kegiatan-kegiatan dalam manajemen, manajemen proyek, karakteristik proyek, stakeholder (pemangku kepentingan) pada proyek serta organisasi proyek, kontrak-kontrak pada proyek, kinerja proyek, manajemen lingkungan, manajemen risiko serta system informasi manajemen proyek yang dijelaskan dalam uraian berikut.

2.11.1 Definisi Manajemen Proyek

Manajemen adalah suatu ilmu pengetahuan tentang seni memimpin organisasi yang terdiri atas kegiatan perencanaan, pelaksanaan dan pengendalian terhadap sumber-sumber daya yang terbatas dalam usaha mencapai tujuan dan sasaran yang efektif dan efisien.

Tujuan manajemen adalah untuk mendapatkan metode atau cara teknis yang paling baik agar dengan sumber-sumber daya yang terbatas diperoleh hasil

maksimal dalam hal ketetapan, kecepatan, penghematan dan keselamatan kerja secara komprehensif.

Unsur-unsur Manajemen antara lain :

- a. Tujuan : sasaran yang hendak dicapai dalam optimasi biaya, mutu, waktu, dan keselamatan.
- b. Pemimpin : mengarahkan organisasi dalam mencapai sasaran dan tujuan.
- c. Sumber-sumber daya yang terbatas : manusia, modal/biaya, peralatan dan material.
- d. Kegiatan : Perencanaan, Pengorganisasian, Pelaksanaan dan Pengendalian.

- Perencanaan (*Planning*)

Perencanaan harus dibuat dengan cermat, lengkap, terpadu dan dengan tingkat kesalahan paling minimal. Namun hasil dari perencanaan bukanlah dokumen yang bebas dari koreksi karena sebagai acuan bagi tahapan pelaksanaan dan pengendalian, perencanaan harus terus disempurnakan secara iterative untuk menyesuaikan dengan perubahan dan perkembangan yang terjadi pada proses selanjutnya.

- Pengorganisasian (*Organizing*)

Pada kegiatan ini dilakukan identifikasi dan pengelompokan jenis-jenis pekerjaan, menurut pendelegasian wewenang dan tanggung jawab personel serta meletakkan dasar bagi hubungan masing-masing unsur organisasi. Untuk menggerakkan organisasi, pimpinan harus mampu mengarahkan organisasi dan menjalin komunikasi antarpribadi dalam hierarki organisasi. Semua itu dibangkitkan melalui tanggung jawab dan partisipasi semua pihak.

Struktur organisasi yang sesuai dengan kebutuhan proyek dan kerangka penjabaran tugas personel penanggung jawab yang jelas, serta kemampuan personel yang sesuai keahliannya, akan diperoleh hasil positif bagi organisasi.

- Pelaksanaan (*Actuating*)

Kegiatan ini adalah implementasi dari perencanaan yang telah ditetapkan, dengan melakukan tahapan pekerjaan yang sesungguhnya secara fisik atau nonfisik sehingga produk akhir sesuai dengan sasaran dan tujuan yang telah ditetapkan. Karena kondisi perencanaan sifatnya masih ramalan dan subyektif serta masih perlu penyempurnaan, dalam tahapan ini sering terjadi perubahan-perubahan dari rencana yang telah ditetapkan.

- Pengendalian (*Controlling*)

Kegiatan yang dilakukan pada tahapan ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa program dan aturan kerja yang telah ditetapkan dapat dicapai dengan penyimpangan paling minimal dan hasil paling memuaskan. Untuk itu dilakukan bentuk-bentuk kegiatan seperti berikut :

1. Supervise : melakukan serangkaian tindakan koordinasi pengawasan dalam batas wewenang dan tanggung jawab menurut prosedur organisasi yang telah ditetapkan, agar dalam operasional dapat dilakukan secara bersama-sama oleh personel dengan kendali pengawas.
2. Inspeksi : melakukan pemeriksaan terhadap hasil pekerjaan dengan tujuan menjamin spesifikasi mutu dan produk sesuai dengan yang direncanakan.
3. Tindakan Koreksi : melakukan perbaikan dan perubahan terhadap rencana yang telah ditetapkan untuk menyesuaikan dengan kondisi pelaksanaan.

Proyek adalah gabungan dari sumber-sumber daya seperti manusia, material, peralatan dan modal/biaya yang dihimpun dalam suatu wadah organisasi sementara untuk mencapai sasaran dan tujuan. Dari semua uraian diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa Manajemen Proyek adalah penerapan ilmu

pengetahuan, keahlian dan keterampilan, cara teknis yang terbaik dan dengan sumber daya yang terbatas, untuk mencapai sasaran dan tujuan yang telah ditentukan agar mendapatkan hasil yang optimal dalam hal kinerja biaya, mutu dan waktu serta keselamatan kerja.

2.11.2 Karakteristik dan Siklus Proyek Konstruksi

Timbulnya suatu proyek, dalam kurun waktu yang dibatasi, biasanya dibatasi dengan kebutuhan-kebutuhan yang sifatnya mendesak karena tuntutan pengembangan dan tingkat pertumbuhan social dan ekonomi dari suatu lokasi atau daerah tertentu. Proyek biasanya difasilitasi oleh pemerintah atau dapat juga dilatarbelakangi semata-mata oleh manfaat ekonomis, yang biasanya dilakukan oleh sektor swasta.

Masing-masing proyek biasanya mempunyai karakteristik tersendiri dalam hal kegiatan yang dilakukan, tujuan dan sasaran, serta produk akhir. Pada Proyek Konstruksi kegiatan utamanya adalah studi kelayakan, *design engineering*, pengadaan dan konstruksi. Hasilnya berupa pembangunan jembatan, gedung, pelabuhan, jalan raya, dan sebagainya, yang biasanya menyerap kebutuhan sumber daya yang besar serta dapat dimanfaatkan oleh orang banyak.

Siklus proyek menggambarkan urutan langkah-langkah sejak proses awal hingga proses berakhirnya proyek. Beberapa kegiatan utama proyek konstruksi terdiri dari kegiatan-kegiatan pada tabel 2.56 dan gambar 2.34.

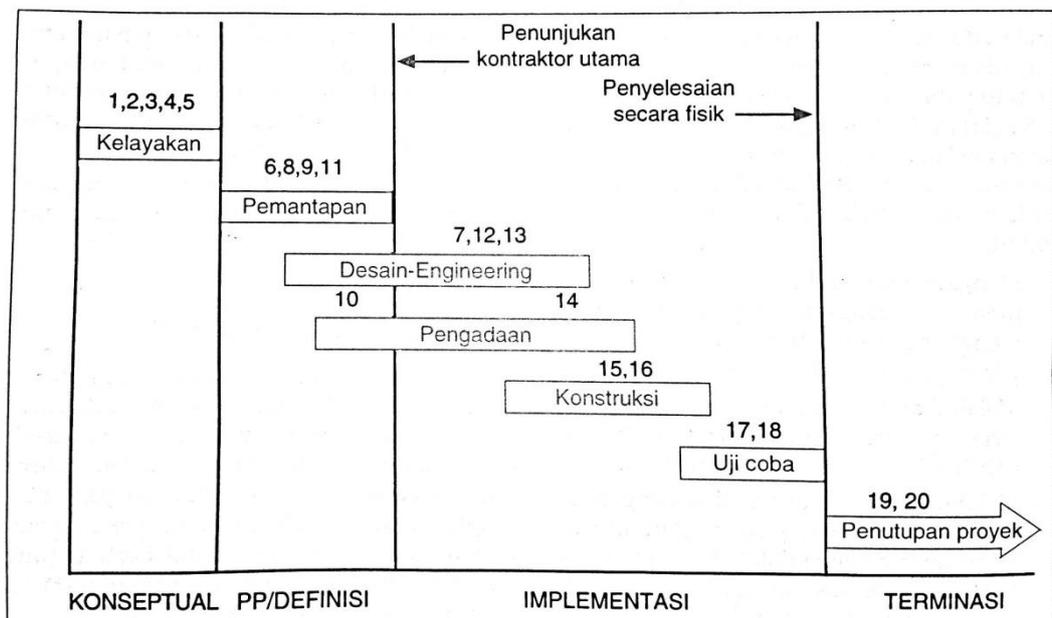
Tabel 2.56 Kegiatan utama proyek konstruksi

Konseptual	PP/Definisi	Implementasi	Terminasi
1. Perumusan gagasan	6. Pendalaman berbagai aspek persoalan	12. Desain-engineering terinci	19. Start Up
2. Kerangka acuan	7. Desain engineering dan pengembangan	13. Pembuatan spesifikasi dan kriteria	20. Demobilisasi laporan penutupan

Lanjutan Tabel 2.56

Konseptual	PP/Definisi	Implementasi	Terminasi
3. Studi kelayakan	8. Pembuatan jadwal induk dan anggaran, menentukan kelanjutan investasi	14. Pembelian peralatan dan material	
4. Indikasi dimensi lingkup proyek	9. Penyusunan strategi penyelenggaraan dan rencana pemakaian sumber daya	15. Pabrikasi dan konstruksi	
5. Indikasi biaya dan jadwal	10. Pembelian dini	16. Inspeksi mutu	
	11. Penyiapan perangkat dan peserta	17. Uji coba kemampuan	
		18. Mechanical "Completion"	

(Sumber : Soeharto, 1999 : 12)



Gambar 2.35 Siklus proyek konstruksi dengan beberapa kegiatan utamanya

(Sumber : Soeharto, 1999 ; 12)

2.11.3 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan atau scheduling adalah pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan masing-masing pekerjaan dalam rangka menyelesaikan suatu proyek hingga tercapai hasil optimal dengan pertimbangan keterbatasan-keterbatasan yang ada.

Secara umum penjadwalan mempunyai manfaat – manfaat seperti berikut.

- Memberikan pedoman terhadap unit pekerjaan / kegiatan mengenai batas – batas waktu untuk mulai dan akhir dari masing – masing tugas.
- Memberikan sarana bagi manajemen untuk koordinasi secara sistematis dan realistis dalam penentuan alokasi prioritas terhadap sumber daya dan waktu.
- Memberikan saran untuk menilai kemajuan pekerjaan.
- Menghindari pemakaian sumber daya yang berlebihan, dengan harapan proyek dapat selesai sebelum waktu yang di tetapkan.
- Memberikan kepastian waktu pelaksanaan pekerjaan.
- Merupakan sarana penting dalam pengendalian proyek.

Berikut metode penjadwalan proyek tersebut antara lain:

a. Waktu dan Durasi Kegiatan

Dalam konteks penjadwalan, terdapat dua perbedaan, yaitu waktu (Time) dan kurun waktu (duration). Bila waktu menyatakan siang/malam, sedangkan kurun waktu atau durasi menunjukkan lama waktu yang dibutuhkan dalam melakukan suatu kegiatan, seperti lamanya waktu kerja dalam satu hari adalah 8 Jam. Melakukan durasi suatu kegiatan biasanya dilandasi volume pekerjaan dan produktivitas crew/kelompok pekerja dalam menyelesaikan suatu pekerjaan. Produktivitas didapat dari pengalaman crew melakukan suatu kegiatan yang telah dilakukan sebelum atau database perusahaan.

b. Bagan balok (*barchart*)

Bagan balok ditemukan oleh Gantt dan Fredrick W. Taylor, dengan panjang balok sebagai representasi dari durasi setiap kegiatan. Bentuk dari bagan ini lebih informatif, dapat diupdate dengan memperpendek dan memperpanjang

balok sesuai dengan durasi kegiatan, mudah dibaca, dan efektif untuk komunikasi serta pengerjaannya mudah dan sederhana.

Penyajian informasi bagan ini terbatas, karena urutan kegiatan pengerjaan kurang terinci sehingga bila terjadi keterlambatan proyek, prioritas kegiatan yang akan dikoreksi menjadi sukar untuk dilakukan.

c. Kurva S (*hanumm curve*)

Kurva S merupakan grafik yang dikembangkan oleh Warren T. Hanumm dengan dasar pengamatan terhadap sejumlah besar proyek sejak awal hingga akhir proyek. Visualisasi kurva ini dapat memberikan informasi mengenai kemajuan proyek dengan membandingkannya dengan jadwal rencana sehingga dapat diketahui keterlambatan atau percepatan jadwal proyek.

Untuk membuat kurva ini, jumlah persentase kumulatif bobot masing-masing kegiatan pada suatu periode di antara durasi proyek diplotkan terhadap sumbu vertikal sehingga bila hasilnya dihubungkan dengan garis maka akan membentuk kurva S.

d. Metode penjadwalan linier (diagram vektor)

Metode ini biasanya sangat efektif dipakai untuk proyek dengan jumlah kegiatan relatif sedikit dan banyak digunakan untuk penjadwalan dengan kegiatan yang berulang seperti proyek konstruksi jalan raya, *runway* bandara udara, terowongan/*tunnel*, atau proyek manufaktur. Metode ini juga cukup efektif digunakan pada proyek bangunan gedung bertingkat karena menggunakan sumber daya manusia yang relatif lebih kecil dan variasi keterampilan pada suatu pekerjaan tidak sebanyak pada proyek yang lain.

e. Metode Penjadwalan *Network Planning*

Network planning diperkenalkan pada tahun 50-an oleh tim perusahaan Du-pont dan rand corporation untuk mengembangkan sistem kontrol manajemen. Metode ini dikembangkan untuk mengendalikan sejumlah besar kegiatan yang memiliki ketergantungan yang kompleks. Metode ini relatif lebih sulit, hubungan antar kegiatan jelas, dan dapat memperlihatkan kegiatan kritis. Dari informasi

network planning-lah monitoring serta tindakan koreksi kemudian dapat dilakukan, yakni dengan memperbaharui jadwal. Akan tetapi, metode ini perlu dikombinasikan dengan metode lainnya agar lebih informatif.

Tahapan penyusunan *network scheduling* :

- Menginventarisasi kegiatan – kegiatan dari paket WBS berdasarkan item pekerjaan, lalu diberi kode kegiatan untuk memudahkan identifikasi.
- Memperkirakan durasi setiapkan dengan mempertimbangkan dengan jenis pekerjaan, volume pekerjaan, jumlah sumberdaya, lingkungan kerja, serta produktifitas pekerja.
- Penentuan logika ketergantungan antara kegiatan dilakukan dengan tiga kemungkinan hubungan, yaitu kegiatan yang mendahului (predecessor), kegiatan yang didahului (successor), serta bebas.
- Perhitungan analisis waktu serta alokasi sumber daya, dilakukan setelah langkah – langkah diatas dilakukan dengan akurat dan teliti.

1. CPM (*critical path method*)

Pada metode jalur kritis atau CPM dikenal adanya jalur kritis, yaitu jalur yang memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan dengan totaljumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek yang tercepat.

Jadi, jalur kritis terdiri dari rangkaian kegiatan kritis, dimulai dari kegiatan pertama sampai kegiatan terakhir proyek. Makna jalur kritis penting bagi pelaksana proyek, karena pada jalur ini terletak kegiatan-kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan, kadang-kadang dijumpai lebih dari satu jalur kritis dalam jaringan kerja. (Iman Soeharto 1999:254).

Dalam proses identifikasi jalur kritis, dikenal beberapa terminologi dan rumus-rumus perhitungan sebagai berikut :

- $TE = E$

Waktu paling awal peristiwa (*node/event*) dapat terjadi (*Earliest time of Occurance*), yang berarti waktu paling awal suatu kegiatan yang berasal dari node tersebut dapat dimulai, karena menurut aturan dasar jaringan kerja, suatu kegiatan baru dapat dimulai kkegiatan terdahulu telah selesai.

- $TL = L$

Waktu paling akhir peristiwa boleh terjadi (*Latest Allowable Event/ Occurance Time*), yang berarti waktu paling lambat yang masih diperbolehkan bagi suatu peristiwa terjadi.

- ES

Waktu mulai paling awal suatu kegiatan (*Earliest Start Time*). Bila waktu kegiatan dinyatakan atau berlangsung dalam jam, maka waktu ini adalah jam paling awal maktu dimulai.

- EF

Waktu selesai paling awal suatu kegiatan (*Earliest Finish Time*). Bila hanya ada satu kegiatan terdahulu, maka EF suatu kegiatan terdahulu merupakan ES kegiatan berikutnya. LS

Waktu paling akhir kegiatan boleh dimulai (*Latest Allowable Start Time*), yaitu waktu paling akhir kegiatan boleh dimulai tanpa memperlambat proyek secara keseluruhan.

- LF

Waktu paling akhir kegiatan boleh selesai (*Latest Allowable Finish Time*) tanpa memperlambat penyelesaian proyek.

- D

Adalah kurun waktu suatu kegiatan. Umumnya dengan satuan waktu hari, minggu, bulan, dan lain-lain.

2. Metode PDM (*presedence diagram method*)

Metode Preseden diagram adalah jaringan kerja yang termasuk klasifikasi *Activity On Node (AON)* dimana tanda panah hanya menyatakan keterkaitan antara kegiatan. Kegiatan dari peristiwa pada PDM ditulis dalam bentuk node yang berbentuk kotak segi empat, sedangkan anak panahnya hanya sebagai petunjuk kegiatan-kegiatan yang bersangkutan. Dengan demikian *dummy* tidak diperlukan.

Kegiatan dan peristiwa pada PDM ditulis dalam node yang berbentuk kotak segi empat. Kotak tersebut menandai suatu kegiatan, dengan demikian harus dicantumkan identitas kegiatan dan kurun waktunya. Adapun peristiwa merupakan ujung-ujung kegiatan. Setiap node mempunyai dua peristiwa awalan akhir.

Ruangan dalam node dibagi menjadi kompartemen-kompartemen kecil yang berisi keterangan spesifik dari kegiatan dan peristiwa yang bersangkutan dan dinamakan atribut. Beberapa atribut yang sering dicantumkan diantaranya adalah kurun waktu kegiatan (D), identitas kegiatan (nomor dan nama), mulai dan selesainya kegiatan (ES,LS,EF,LF dan lain-lain).

Pada PDM, anak panah hanya sebagai penghubung atau memberikan keterangan hubungan antar kegiatan, dan bukan menyatakan kurun waktu kegiatan seperti halnya pada CPM. Tetapi karena PDM tidak terbatas pada aturan dasar jaringan kerja CPM (kegiatan boleh mulai setelah kegiatan yang mendahuluinya selesai), maka hubungan antar kegiatan berkembang menjadi beberapa kemungkinan berupa konstrain. Konstrain menunjukkan hubungan antar kegiatan dengan satu garis dari node terdahulu ke node berikutnya. Satu konstrain hanya dapat menghubungkan dua node. Karena setiap node memiliki dua ujung yaitu ujung awal atau mulai = (S) dan ujung akhir atau selesai = (F), maka ada empat macam konstrain yaitu awal ke awal (SS), awal ke akhir (SF), akhir ke awal (FS), akhir ke akhir (FF). (Iman Soeharto1995:241).